



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mecatrónica**

TEMA:

**“JUGUETE MULTIFUNCIONAL PARA DETECCIÓN DE SEÑALES
BIOMÉDICAS EN NIÑOS EN ESTADO DE ANSIEDAD”**

Autor:

Cristian Fernando Báez Jácome

Directora:

Ing. Luz María Tobar Subía Contento MSc.

IBARRA - ECUADOR

JULIO 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100297307-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Báez Jácome Cristian Fernando		
DIRECCIÓN:	Atuntaqui – Galo Plaza 09-91 y Dos de Marzo		
EMAIL:	cfbaezj@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06-2907-676	TELÉFONO MÓVIL:	0987421243
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	Juguete Multifuncional para Detección de Señales Biomédicas en Niños en Estado de Ansiedad.		
AUTOR (ES):	Báez Jácome Cristian Fernando		
FECHA: DD/MM/AAAA	01/07/2021		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica		
DIRECTOR:	Ing. Luz María Tobar Subia Contento MSc.		

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes Julio de 2021

EL AUTOR:



Cristian Fernando Báez Jácome

C.I. 100297307-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Magister Luz María Tobar Subía Contenido con cédula de identidad Nro. 1002444204, directora del presente trabajo de titulación certifica:

Que, el presente trabajo de titulación denominado: **“JUGUETE MULTIFUNCIONAL PARA DETECCIÓN DE SEÑALES BIOMÉDICAS EN NIÑOS EN ESTADO DE ANSIEDAD”**. Ha sido desarrollado por el Sr. Cristian Fernando Báez Jácome bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

LUZ
MARIA
TOBAR
SUBIA
Ing. Luz María Tobar Subía MSc
C.I. 1002444204
DIRECTORA

Digitally signed
by LUZ MARIA
TOBAR SUBIA
Date:
2021.07.08
14:51:40 -05'00'

Ibarra, Julio de 2021

AGRADECIMIENTO

A DIOS por ser mi fortaleza, mi guía, mi paz y darme la oportunidad de vivir este sueño tan lindo, que no ha sido fácil, con muchos obstáculos, decisiones buenas y malas, pero nunca soltó mi mano cuando quería desistir y como su dice su palabra, para los hombres esto es imposible; más para Dios todo es posible, y gracias a todo eso me doy cuenta que valió la pena.

A mis amados padres que me apoyaron incansablemente durante esta larga aventura llamada ingeniería, saben que los amo mucho y que son lo más importante para mí en la vida, sin su amor y sabios consejos no hubiese llegado hasta el final de mi carrera.

A mi tutora **Ing. Luz María Tobar Subía Contenido**, por su enorme paciencia, apoyo y consejos para poder lograr mi objetivo, por eso le estaré siempre muy agradecido.

A mi segunda casa, es decir, a la gloriosa UTN por darme la oportunidad de estudiar entre sus aulas y por recibirme como su hijo durante más de 5 años.

A una gran y hermosa mujer, mi novia Dámaris, por sus consejos, su amor único, apoyo diario, en todo momento creer en mí, y unidos con Dios ser un gran equipo.

Una mención especial a Omar, la persona que me apoyó y resolvió mis dudas para mejorar el trabajo de tesis, Omar, gracias por su guía y ayudarme incondicionalmente.

DEDICATORIA

A DIOS por ser la luz y guía en todo este largo camino, por ser mi motor principal y brindarme la sabiduría para cumplir una de las metas más importantes de mi vida, además por bendecirme con unos padres ejemplares, Patricio Báez y Mariana Jácome, quienes me han apoyado incondicionalmente de principio a fin y forjarme como la persona que soy en la actualidad, y a mi hermana Johanna Báez, que pese a su corta edad siempre ha estado conmigo durante mis largas jornadas de estudio.

Una dedicatoria especial, para mi abuelo Luis Báez, quién el año pasado nos dejó en un momento difícil para la humanidad, sé que desde el cielo está guiando mis pasos, y haciendo fuerzas para cumplir cada meta, cada sueño en mi vida.

RESUMEN

Existen varios sistemas comerciales en el mercado que miden signos vitales como la temperatura corporal, saturación de oxígeno o ritmo cardíaco, varios de ellos son invasivos, y en muy pocos casos sus diseños están enfocados a niños.

Por esta razón, se ha planteado realizar un sistema que monitoree las tres señales biomédicas antes mencionadas en un solo dispositivo, utilizando sensores no invasivos para evitar herir o causar daños e incomodidad al paciente, y que ayude en el proceso de evaluación de los signos vitales en niños previo a una cita médica.

El sistema desarrollado consiste en la implementación de dos sensores no invasivos para medir las tres variables, un sensor que mide temperatura corporal y otro sensor para medir saturación de oxígeno y ritmo cardíaco, conjuntamente en un circuito analógico. El procesamiento de los datos se ejecuta en un microcontrolador (Arduino nano) y placa (Raspberry Pi 3 B+). Además, la visualización de los resultados es mediante una pantalla LCD 16x2.

Adicionalmente, el juguete multifuncional posee un modelo del diseño mecánico en forma de oso impreso en 3D cuyo material es PLA para la carcasa, que permitirá al usuario manipular el dispositivo, realizar la medición de los signos vitales y leer los valores de forma no invasiva.

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas a niños y niñas en un rango de edad de 4 hasta 11 años determinan que existe un porcentaje de error mínimo con respecto a otros dispositivos comerciales como el oxímetro digital y termómetro. El porcentaje de error promedio para la temperatura corporal es de 1.35%, saturación de oxígeno 1,43% y ritmo cardíaco 3,6%.

ABSTRAC

There are several commercial devices on the market that monitor vital signs such as body temperature, oxygen saturation, or heart rate; however, many of them are intrusive, and only a few of them are designed with children in mind.

As a result, it has been proposed to develop a system that monitors the mentioned three biomedical signals in a single device, employing non-invasive sensors to avoid injuring or causing damage and discomfort to the patient, and that assisting in the process of evaluating vital signs in children previous to a medical appointment.

The proposed system consist of the integration of two non-invasive sensors to measure the three variables, one for body temperature and another for oxygen saturation and heart rate, in an analog circuit. A microcontroller (Arduino nano) and a board (Raspberry Pi 3 B +) are used to process the data. Furthermore, the findings are presented on a 16x2 LCD screen.

Furthermore, the multipurpose toy includes a 3D printed replica of the mechanical design in the shape of a bear, using PLA for the chassis, allowing the user to operate the gadget, measure vital signs, and interpret the data in a non-invasive manner.

The results of tests conducted on boys and girls aged 4 to 11 years show that there is a minimum percentage of inaccuracy when compared to other commercial devices such as the digital oximeter and thermometer. Body temperature has a 1.35 percent error rate, oxygen saturation has a 1.43 percent error percentage, and Heart Rate has a 1.35 percent error percentage 3.6 percent.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRAC	viii
INTRODUCCIÓN	1
Problema	1
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivo Específicos	3
Justificación.....	3
Alcance.....	4
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes	5
1.2 Los signos vitales	6
1.2.1 Temperatura corporal	7
1.2.2 Saturación de oxígeno.....	8
1.2.3 Ritmo cardíaco	9
1.3 Evaluación de estudios relacionado con el tema.....	10

2. METODOLOGÍA	13
2.1. Tipo de investigación	13
2.2. Requerimientos del sistema	13
2.3. Diseño del sistema	15
2.3.1. Alternativas, evaluación y selección de los sensores	15
2.3.2. Alimentación del sistema	22
2.3.3. Comunicación del sistema	23
2.3.4. Adquisición de datos del sistema	26
2.3.5. Diseño e impresión 3D de la estructura del dispositivo	28
2.3.6. Postproceso de la estructura del juguete	32
2.3.7. Integración de las partes del sistema	35
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
3.1. Pruebas	37
3.1.1. Pruebas de funcionalidad del sistema	37
3.1.2. Validación del sistema	39
3.2. Análisis de Resultados	40
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
4.1. Conclusiones	46
4.2. Recomendaciones	47
Trabajo a futuro	48

Referencias.....	49
ANEXOS.....	53
Anexo 1: Análisis financiero	53
Anexo 2: Diagrama de flujo del funcionamiento general del sistema.....	54
Anexo 3: Manual de usuario	55
Anexo 4: Código de programación en Python	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1	Diagrama del procesamiento de señales [Autor].....	15
Figura 2-2	Sensor MAX30100 [17]	21
Figura 2-3	Sensor GY-906 MLX96014 [18]	21
Figura 2-4	Diagrama de bloques de alimentación [Autor].....	22
Figura 2-5	Placa Raspberry Pi 3B+, A) placa y módulos, B) pines [20]	23
Figura 2-6	Tarjeta Arduino nano, descripción de las entradas/salidas [21]	24
Figura 2-7	Diagrama de comunicación entre elementos que componen el sistema [Autor]..	24
Figura 2-8	Diagrama eléctrico de comunicación del sistema [Autor]	25
Figura 2-9	Diseño del PCB [Autor]	26
Figura 2-10	PCB mecanizada [Autor].....	27
Figura 2-11	PCB y componentes del sistema, A) Raspberry Pi 3 B+, B) PCB, C) LCD [Autor].....	28
Figura 2-12	Diseño 3D del juguete multifuncional, vista frontal [Autor]	29
Figura 2-13	División del juguete multifuncional, A) parte superior, B) parte inferior [Autor].....	29
Figura 2-14	Diseño 3D del juguete multifuncional, vista posterior [Autor].....	30
Figura 2-15	Caja de conexiones (parte inferior) [Autor]	30
Figura 2-16	Diseño3D del juguete multifuncional con corte vista frontal, A) mano, B) brazo [Autor].....	31
Figura 2-17	Impresión 3D del juguete multifuncional, vista frontal [Autor]	31

Figura 2-18	Impresión 3D del juguete multifuncional sin postprocesado, parte superior [Autor]	32
Figura 2-19	Integración del sistema, A) estructura mecánica, B) parte electrónica del sistema [Autor].....	35
Figura 2-20	Elementos de la parte electrónica del sistema, A) Raspberrypi 3B+, B) Arduino nano, C) PCB, D) botonera [Autor].....	36
Figura 3-1	Prueba del sistema desarrollado con el paciente, A) mano derecha sensor MAX30100), B) mano izquierda sensor GY-906 MLX96014 [Autor]	38
Figura 3-2	Dispositivos comerciales, A) oxímetro digital, B) termómetro [Autor]	39
Figura 3-3	Prueba del sistema comercial con el paciente, A) oxímetro digital, B) termómetro [Autor]	39
Figura 3-4	Comparativa de mediciones de temperatura corporal entre sistema comercial y desarrollado [Autor].....	41
Figura 3-5	Comparativa de mediciones de saturación de oxígeno entre sistema comercial y desarrollado [Autor].....	43
Figura 3-6	Comparativa de mediciones de ritmo cardíaco entre sistema comercial y desarrollado [Autor].....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Valores normales de la temperatura corporal [8]	7
Tabla 1-2	Alteraciones de la temperatura corporal [9]	7
Tabla 1-3	Valores normales de la saturación de oxígeno [10]	8
Tabla 1-4	Actuaciones según el % de saturación de oxígeno [10]	8
Tabla 1-5	Valores normales del ritmo cardiaco [8]	9
Tabla 1-6	Alteraciones del ritmo cardiaco [8]	9
Tabla 1-7	Sistemas comerciales [Autor]	10
Tabla 2-1	Características para el desarrollo del sistema [Autor]	13
Tabla 2-2	Alternativas de sensores para Saturación de oxígeno y Ritmo cardíaco [15]	16
Tabla 2-3	Alternativas de sensores para temperatura corporal [Autor]	16
Tabla 2-4	Parámetros de evaluación [Autor]	17
Tabla 2-5	Valores escala de la matriz de pares para evaluar las alternativas de sensores [16]	18
Tabla 2-6	Matriz de pares para los parámetros de evaluación [16]	18
Tabla 2-7	Matriz de pares de las alternativas asociados a la Funcionalidad [16]	19
Tabla 2-8	Matriz de pares de las alternativas asociados a la Alimentación [16]	19
Tabla 2-9	Matriz de pares de las alternativas asociados a la Accesibilidad, Saturación de oxígeno y Ritmo cardíaco [16]	19
Tabla 2-10	Matriz de pares de las alternativas asociados a la Accesibilidad, Temperatura Corporal [16]	19
Tabla 2-11	Matriz de pares de las alternativas asociados a la Compatibilidad [16]	19

Tabla 2-12	Matriz de pares final, Saturación de oxígeno y Ritmo cardíaco [16]	20
Tabla 2-13	Matriz de pares final, Temperatura Corporal [16]	20
Tabla 2-14	Pasos del postprocesado [Autor]	33
Tabla 3-1	Pruebas con el sistema desarrollado [Autor]	38
Tabla 3-2	Pruebas con el sistema comercial [Autor]	40
Tabla 3-3	Porcentaje de error de la medición de temperatura corporal [Autor]	41
Tabla 3-4	Porcentaje de error de la medición de saturación de oxígeno [Autor]	42
Tabla 3-5	Porcentaje de error de la medición de ritmo cardíaco [Autor]	44

INTRODUCCIÓN

Problema

La tecnología avanza a pasos agigantados y simultáneamente la bioingeniería aporta mejoras, en todas las ramas de las ciencias de la salud, brindando herramientas tecnológicas al servicio del personal médico y de los pacientes. Para indicar un tratamiento eficaz es indispensable contar con un diagnóstico confiable; sin embargo, los centros de salud pública del Ecuador no cuentan con los dispositivos necesarios para obtener evaluaciones precisas, en poco tiempo y con un gran nivel de fiabilidad. Por otra parte, no se cuentan con instrumentos que permitan determinar múltiples parámetros médicos con un solo dispositivo, de forma no invasiva. Por lo tanto, existe la necesidad de brindar a especialistas de la salud, instrumentos de trabajo que faciliten el proceso de evaluación a pacientes.

En muchos casos asisten pacientes a los centros hospitalarios con algún padecimiento y adicionalmente presentan síntomas asociados a la ansiedad; bien sea por una condición particular o por temor a los exámenes médicos. De acuerdo a conocimientos de expertos e instituciones que estudian el comportamiento del ser humano, manifiestan que la mayoría de los niños y niñas que se encuentran en una situación de ansiedad presentan síntomas antes de una revisión médica o a causa de alguna emergencia, estos síntomas pueden ser:

- Sensación de miedo al estar separado de los padres (ansiedad de separación).
- Miedo extremo acerca de una situación o algo específico, como estar junto al médico (fobias).
- Preocupación por el futuro y acerca de que sucedan situaciones desagradables después del

chequeo médico, revisión médica o una inyección.

- Síntomas como palpitaciones del corazón, dificultad para respirar, mareos, temblor sudor excesivo (trastorno de pánico), [1], debido a episodios reiterados de miedo.

Las situaciones más complicadas para llevar a cabo la medición de parámetros se presentan durante las emergencias médicas. En el país las causas más comunes, presentadas en los niños y niñas, son las siguientes: fiebre, ritmo cardíaco o frecuencia respiratoria alterada, infección estomacal, quemaduras y traumatismos, tales como golpes, fracturas y lesiones articulares, [2], dada la situación, los niños manifiestan estados de ansiedad.

Actualmente, cuando se cuantifican los parámetros se utiliza un instrumento distinto para cada medición, por ejemplo: para medir la temperatura se utiliza el termómetro de mercurio, ubicándolo en la axila y en ciertos casos un termómetro digital que se localiza en la frente del paciente. Además, para sensar el ritmo cardíaco, se evalúa en áreas por las que pasa cerca una arteria en varias zonas del cuerpo humano, lo más común es medir el pulso en la muñeca, para lo cual se colocan los dedos índice y medio sobre la parte anterior de la misma y en la opuesta el pulgar, de manera que se oprima firmemente con los tres dedos hasta que se sienta el pulso [3].

La mayoría de estos se ajustan al criterio del especialista, de tal forma que presentan fuentes de errores introducidos por este tipo de elementos convencionales, obteniendo en la mayoría de los casos datos imprecisos por diversas causas, tales como:

- Pérdida de segmentos de numeración
- Incorrecta interpretación de las medidas.
- Deterioro de la estructura mecánica del instrumento
- Ubicación incorrecta del instrumento de medición

- Problemas visuales, entre otros.

Por ello el personal médico debe realizar reiteradas mediciones con el fin de obtener resultados más fiables.

Ante estas situaciones, con el aval del Grupo de Investigación de Sistemas Inteligentes ha propuesto el desarrollo de un juguete multifuncional, orientado a niños, que detecte señales biomédicas relacionadas con los estados de ansiedad.

Objetivos

Objetivo General

- Construir un juguete multifuncional para detección de señales biomédicas.

Objetivo Específicos

- Evaluar diferentes sensores para la adquisición de señales biomédicas para personas.
- Diseñar la estructura mecánica del juguete multifuncional para el soporte de los elementos electrónicos del sistema.
- Construir el sistema mecatrónico para la adquisición de los parámetros médicos.
- Validar el funcionamiento del juguete mediante pruebas.

Justificación

Desde el punto de vista tecnológico, el proyecto planteado permitirá contar con un instrumento para la evaluación de parámetros médicos, en pacientes con estado de ansiedad, de forma precisa y con resultados confiables para que los profesionales de la salud se apoyen en los mismos; de

manera que puedan establecer un diagnóstico y tratamiento adecuado.

En el ámbito económico, se pretende ofrecer un dispositivo más accesible que los modelos similares disponibles en el mercado.

En cuanto a las prácticas de investigación y desarrollo que se llevan a cabo en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, se ejecutaría un proyecto que puede dar origen a futuros trabajos en el ámbito de la biomecatrónica.

Finalmente, este tipo de proyectos cumple con la misión de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica fomentando y ejecutando procesos tecnológicos, de conocimientos científicos y de innovación.

Alcance

El proyecto se centrará en el diseño de un juguete multifuncional que detecte tres señales biomédicas (temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardíaco), de forma no invasiva para el cuerpo humano. Posteriormente; se llevará a cabo la programación del sistema empleando software libre. El sistema mecatrónico se construirá utilizando tecnologías de fabricación por adición. Finalmente, dado la situación actual que atraviesa el país en el marco de la emergencia sanitaria se realizará las pruebas en un grupo reducido de personas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En la actualidad, existe en el mercado una gran variedad de dispositivos que miden cada uno de los signos vitales en el ser humano, cada uno de ellos tratan de integrar al menos una de las variables o signos vitales y mejorar la eficiencia.

Conociendo dicha información, para el proyecto se realizó una búsqueda de trabajos similares tanto nacionales como internacionales, los mismos que tienen un aporte importante para el sistema creado, a continuación, se menciona algunos de los más interesantes.

Existen estudios previos, donde se realiza un sistema de monitoreo continuo de signos vitales y variables ambientales, con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos para determinar el estado de salud actual del usuario y las condiciones de su entorno. Este sistema registra las siguientes señales: electrocardiograma, temperatura corporal periférica, temperatura ambiental y humedad relativa. A partir de esas mediciones se calcularon otros parámetros fisiológicos como: frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria, se incorporó sensores a una cápsula de microfibras y se fabricó un circuito analógico para acondicionar estas señales según los requerimientos del microcontrolador para su posterior digitalización [4].

Se encontró trabajos donde realizan el diseño e integración bajo un software robótico de un sistema para monitorización de signos vitales, mediante la técnica fotoplethysmográfica, la misma que es capaz de medir la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria. La información obtenida de cada signo vital es muestreada mediante una cámara digital y procesada en línea por diferentes

nodos, respetando la plataforma multimodal de ROS, la misma que se ha convertido en un esquema general para aplicaciones de este tipo [5].

Además, se ha desarrollado un dispositivo no invasivo con el fin de obtener los tres principales signos vitales: frecuencia cardíaca, presión arterial y temperatura, los datos de estos se obtiene con una tarjeta de adquisición, se procesa las señales, se envía a un dispositivo móvil utilizando el protocolo de comunicación denominado Bluetooth, así el profesional de la salud interpreta la medición de los parámetros médicos medidos [6].

Cortés y otros proponen un sistema con varios sensores que permite el monitoreo de los diferentes signos vitales, como lo son: la temperatura, presión arterial, pulso cardiaco, entre otros, y tiene como fin dar un diagnóstico y priorizar a los pacientes, es decir, decidir quién necesita la atención de manera inmediata y disponer de una base de datos que fue programada en visual basic 6 para luego visualizar en un panel y en tiempo real la medición de los signos vitales [7].

1.2 Los signos vitales

Los signos vitales son la manifestación de medidas que indican el correcto funcionamiento de las funciones corporales del cuerpo humano, los cuales pueden ser medidos a través de instrumentos básicos. Los principales signos vitales son los siguientes: presión arterial, frecuencia respiratoria, temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardiaco. Con estos signos se puede evaluar el estado de salud de una persona, en este caso los niños, los valores normales de los mismos están determinados bajo rangos y puede tener una pequeña variación dependiendo de la edad o sexo del paciente [8].

1.2.1 Temperatura corporal

La temperatura corporal expresa la cantidad de calor producida y perdida del cuerpo humano, la misma que varía según la persona, edad, momento del día, actividad realizada y lugar del cuerpo donde se toma la muestra. Algunos estudios han demostrado que la temperatura promedio normal en los niños es de 36° y 37° C [8].

En la Tabla 1.1 se muestra la relación de temperatura con la edad de los niños, así como también las causas y consecuencias que puede presentar el paciente con relación a los cambios de temperatura, en la Tabla 1.2 se detalla.

Tabla 1-1 Valores normales de la temperatura corporal [8]

Edad	Grados (°C)
Recién nacido	36,1 – 37,7
Lactante	37,2
De 2 a 8 años	37,0
De 8 a 12 años	36,5 - 37,0

Tabla 1-2 Alteraciones de la temperatura corporal [9]

Alteración	Grados (°C)
Hipotermia	≤ 35.0
Febrícula	Hasta 38
Fiebre	≥ 38
Hipertermia	≥ 41
Hiperpirexia	≥ 41

1.2.2 Saturación de oxígeno

La saturación de oxígeno es la medición de la cantidad de oxígeno disponible en la sangre. Los niveles de saturación óptimos en los niños que garantizan que las células del cuerpo reciban la cantidad adecuada de oxígeno, oscilan entre el 95% y 100% [10].

En la Tabla 1.3 se indica la relación de la edad de los niños con el porcentaje promedio ideal, así como las actuaciones que el paciente debe realizar con relación al porcentaje que indique la medición, en la Tabla 1.4 se detalla.

Tabla 1-3 Valores normales de la saturación de oxígeno [10]

Edad	Promedio de SPO2	Ic 95%
De 0 a 23 meses	97,2 %	94,7 – 99,7 %
De 2 a 4 años	97,4 %	94,7 – 100 %
De 5 a 9 años	97,5 %	95,1 – 99,8 %
De 10 a 12 años	97,7 %	95,6 – 99,7 %

Tabla 1-4 Actuaciones según el % de saturación de oxígeno [10]

% de saturación	Actuación
> 95%	No actuación inmediata
95 – 90%	Tratamiento inmediato y monitorización de la respuesta al mismo.
< 90%	Enfermo grave. Hipoxemia severa.
< 80%	Valorar intubación y ventilación mecánica.

1.2.3 Ritmo cardíaco

El ritmo cardíaco o frecuencia cardíaca se manifiesta como el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto (latidos por minuto). Dependiendo de la edad, los niños pueden tener un pulso de entre 43 y 180 latidos por minuto, el mismo que puede variar si está en reposo o en actividad. En la Tabla 1.5 se indica el ritmo cardíaco con relación a la edad del niño, así como también las alteraciones que pueden presentarse, en la Tabla 1.6 se detalla [8].

Tabla 1-5 Valores normales del ritmo cardiaco [8]

Edad	Ritmo Cardíaco	Promedio	Ritmo Cardiac
	Despierto (bpm)		Dormido (bpm)
Recién nacido hasta 3 meses	85 - 205	140	80 - 160
De 3 meses a 2 años	100 - 190	130	75 - 160
De 2 a 10 años	60 - 140	80	60 - 90
> 10 años	60 - 100	75	50 - 90

Tabla 1-6 Alteraciones del ritmo cardiaco [8]


Alteración	bpm
Bradicardia	< 60
Taquicardia	> 100 que no sobrepasa los 160

1.3 Evaluación de estudios relacionado con el tema

En esta sección, se hace referencia a los sistemas comerciales más importantes que se han desarrollado con relación al presente proyecto, ver tabla 1.7, recopilando ideas relevantes que se han posicionado a la vanguardia de la medicina orientada a niños.

Tabla 1-7 Sistemas comerciales [Autor]

Sistemas Comerciales	
	<p>Pulsera Liip Smart Monitor</p> <p>Este dispositivo cumple con las más estrictas normas en cuanto a seguridad de productos eléctricos e infantiles, y protocolos pediátricos para el bienestar del niño. Detecta en tiempo real de forma no invasiva las principales variables del bebé (saturación de oxígeno, pulso y temperatura corporal). Los datos quedan registrados en la aplicación del Smartphone, Tablet o computadora en dos versiones, una para padres y otra para el médico, estos datos se notifican mediante alertas en caso de detectar alteraciones que ponga el riesgo la salud del bebé [11].</p>
<p>Características técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable en una hora y autonomía de trabajo de 13 horas continuas. • Disponibilidad de conexión de varios dispositivos a la pulsera vía bluetooth, para iOS y Android • Pulsera elástica adaptable al tamaño del tobillo del niño. • Material hipoalergénico en la carcasa para evitar alergias en la piel del paciente. 	

	<p>Ángel de la guarda GA2000 Series</p> <p>Es un sistema remoto, inalámbrico de monitoreo de signos vitales (temperatura, ritmo cardíaco y saturación de oxígeno). Es una tecnología aprobada por la FDA para uso médico en el hogar y destinado a bebés de hasta 22 libras.</p>
<p>Características técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Datos de signo vitales en tiempo real tomados una vez por segundo. • Batería recargable de 22 horas de autonomía, 3 horas para cargar completamente. • Doble encriptado para su privacidad. • Aplicación para el celular disponible para iOS y Android con conexión vía wifi. • Alarmas audibles y visibles de alerta, para una intervención temprana. 	<p>Este dispositivo puede monitorear de forma remota, sin restricción de distancia en la unidad de visualización o teléfono, posee video con visión nocturna, audio y elementos vitales para una futura intervención.</p> <p>Además, en caso de que suene una alarma relacionada con la salud, el sistema capturará un clip de 3 minutos y lo almacenará en su monitor para su posterior revisión por parte de su médico [12].</p>



Características técnicas

- Batería recargable con cable micro USB.
- App disponible para iOS y Android.
- Caja de plástico para protección exclusiva del sensor de temperatura.

Teddy, The Guardian

Es un oso de peluche con sensores integrados que miden la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la saturación de oxígeno y la temperatura corporal del niño, y envían los datos mediante tecnologías inalámbricas al teléfono inteligente de los padres. Para la medición de las variables, el niño le da un dedo a Teddy o le pone la pata del oso en la frente, los sensores detectan los valores, los registran y los transmiten en tiempo real a la aplicación móvil de los padres.

Los sensores integrados en el oso tienen la aprobación de la FDA y la CE, lo que significa que se pueden vender y usar en todo el mundo [13].

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Se define como una investigación aplicada tecnológica, en este caso, el objetivo es encontrar soluciones aplicadas para la resolución de un problema específico, llevando la teoría a la práctica con el fin de impulsar un impacto positivo en la vida cotidiana del ser humano. Es así como, se optó por construir un juguete multifuncional que mida señales biomédicas como: temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardíaco, más no determinar las causas de cómo se producen estos parámetros [14].

2.2. Requerimientos del sistema

Se requiere un sistema no invasivo, el cual mida la temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardíaco, para que el personal de salud ayude al paciente en el momento de la evaluación médica y posteriormente mejorar el estado de salud. Además, que las variables a medir sean leídas en pantalla, y finalizado el dispositivo proceder a las pruebas de funcionamiento.

Tabla 2-1 Características para el desarrollo del sistema [Autor]

Características generales	Objetivo
Descripción general	Es un sistema no invasivo que monitorea signos vitales para niños.
Características técnicas	1) Modelo del diseño mecánico en forma de oso impreso en 3D. 2) Material PLA para la carcasa y así evitar alergias en el paciente.

	3) Posee dos sensores, uno que mide la temperatura corporal, y otro para saturación de oxígeno y ritmo cardíaco.
Programación	Software libre
Mercado primario	1) Hospitales desde primer a tercer nivel 2) Clínicas, consultorios y hogares.
Partes interesadas	1) Doctores 2) Enfermeras 3) Pacientes.
Dimensiones	Las dimensiones mínimas del juguete deben ser estándar, para que el mismo no sea muy estorboso para el paciente, doctor o enfermera.
Seguridad y limpieza	1) Mantener el cableado interno del juguete en buen estado y cambiar los que no estén en perfectas condiciones. 2) El material de la estructura debe ser de fácil limpieza y que no almacene ningún tipo de bacteria que pueda ser peligrosa para el paciente.

Establecido los requerimientos y características generales del sistema, se plantea el diagrama que representa el procesamiento de señales de las variables biomédicas a medir, ver figura 2.1.

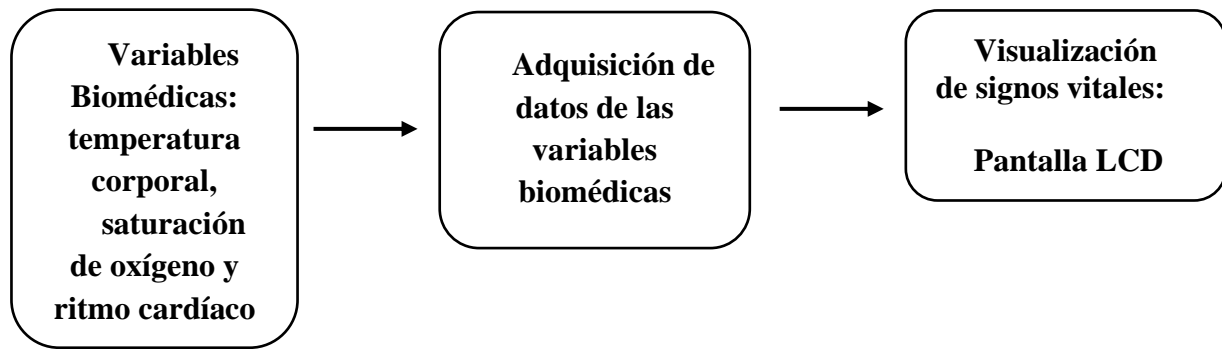


Figura 2-1 Diagrama del procesamiento de señales [Autor]

2.3. Diseño del sistema

2.3.1. Alternativas, evaluación y selección de los sensores

En el mercado hay una gran variedad de dispositivos que realizan todo tipo de mediciones en cualquier ámbito, para ello se detalla los sensores que se relacionan con el estudio: temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardíaco.

El diseño del sistema requiere de varias etapas, partiendo por el principal que es la selección de los sensores a utilizar, para aquello se plantea tres opciones para obtener SPO2 y BPM, ver tabla 2.2, estos sensores utilizan luz roja e infrarroja y por medio de la reflectancia o absorción permiten obtener los datos necesarios.

- **Parámetros de evaluación para las alternativas de sensores**

Una vez establecido los sensores, se selecciona los parámetros que serán evaluados a los mismos utilizando el método de matriz de pares, ver tabla 2.4.

Tabla 2-4 Parámetros de evaluación [Autor]

Parámetro	Descripción
Funcionalidad	Debe ser no invasivo, que no presente puntas vivas, pero sobre todo tiene que ser liviano y fácil de usar.
Alimentación	El sensor debe consumir la energía suficiente para obtener un funcionamiento prolongado.
Accesibilidad	En caso de daños, reemplazar y necesitar un nuevo sensor, es vital que el tiempo de su adquisición sea lo menor posible, además la información de su funcionamiento deber ser accesible para el usuario, así como también la disponibilidad en el mercado para su compra.
Compatibilidad	Con la finalidad de evaluar los parámetros a necesitar, es indispensable que sea capaz de enviar la información en formatos que sean compatibles con el software de procesamiento de datos. (Python).

- **Selección de los sensores**

Para obtener el sensor indicado se utiliza el método de matriz de pares con los valores de escala que se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2-5 Valores escala de la matriz de pares para evaluar las alternativas de sensores [16]

Escala	Ponderación
Mucho más importante	10
Más importante	5
Igual	1
Menos importante	0.2
Mucho menos importante	0.1

Como primer paso se determina la matriz de pares de los criterios seleccionados ver tabla 2.6, con el fin de obtener el factor de ponderación (FP) para cada parámetro el cual resulta de dividir la suma de cada fila entre el total global de la columna con la siguiente ecuación 1.1.

$$FP = \frac{Suma}{Total} = PO \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Tabla 2-6 Matriz de pares para los parámetros de evaluación [16]

	Funcionalidad	Alimentación	Accesibilidad	Compatibilidad	Suma	FP
Funcionalidad	0	1	10	10	21	0.39
Alimentación	1	0	0.2	0.1	1.3	0.02
Accesibilidad	1	10	0	0.2	11.2	0.30
Compatibilidad	0.2	5	10	0	15.2	0.28
Total					53.7	

Posteriormente se calcula el peso de la opción (PO) asociado a cada parámetro, de la misma forma que se calcula el FP se obtiene el PO ver las tablas 2.7 – 2.11.

Tabla 2-7 Matriz de pares de las alternativas asociados a la Funcionalidad [16]

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma	PO
Alternativa 1	0	1	1	2	0.33
Alternativa 2	1	0	1	2	0.33
Alternativa 3	1	1	0	2	0.33
Total				6	

Tabla 2-8 Matriz de pares de las alternativas asociados a la Alimentación [16]

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma	PO
Alternativa 1	0	1	1	2	0.33
Alternativa 2	1	0	1	2	0.33
Alternativa 3	1	1	0	2	0.33
Total				6	

Tabla 2-9 Matriz de pares de las alternativas asociados a la Accesibilidad, Saturación de oxígeno y Ritmo cardíaco [16]

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma	PO
Alternativa 1	0	10	10	20	0.93
Alternativa 2	0.2	0	1	1.2	0.06
Alternativa 3	0.2	0.1	0	0.3	0.01
Total				21.5	

Tabla 2-10 Matriz de pares de las alternativas asociados a la Accesibilidad, Temperatura Corporal [16]

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma	PO
Alternativa 1	0	0.2	0.1	0.3	0.01
Alternativa 2	10	0	10	20	0.78
Alternativa 3	5	0.2	0	5.2	0.20
Total				25.5	

Tabla 2-11 Matriz de pares de las alternativas asociados a la Compatibilidad [16]

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma	PO
Alternativa 1	0	1	1	2	0.33
Alternativa 2	1	0	1	2	0.33
Alternativa 3	1	1	0	2	0.33
Total				6	

En las tablas 2.12 y 2.13 se muestra la matriz final que se obtiene al etiquetar filas con alternativas y columnas con parámetros de evaluación de esta forma se calcula el puntaje final para cada alternativa mediante la siguiente ecuación 2.2 y así clasificar de forma jerárquica las alternativas.

$$\text{Puntaje final} = FP * PO$$

Ecuación 2-2

Tabla 2-12 Matriz de pares final, Saturación de oxígeno y Ritmo cardíaco [16]

	Funcionalidad	Alimentación	Accesibilidad	Compatibilidad	Suma
Alternativa 1	0.13	0.0066	0.28	0.09	0.38
Alternativa 2	0.13	0.0066	0.02	0.09	0.12
Alternativa 3	0.13	0.0066	0.003	0.09	0.01

Tabla 2-13 Matriz de pares final, Temperatura Corporal [16]

	Funcionalidad	Alimentación	Accesibilidad	Compatibilidad	Suma
Alternativa 1	0.13	0.0066	0.003	0.09	0.01
Alternativa 2	0.13	0.0066	0.234	0.09	0.33
Alternativa 3	0.13	0.0066	0.06	0.09	0.16

Como se observa, una vez determinado el puntaje final para cada alternativa con relación a cada criterio de evaluación, se obtiene como resultado ganador la alternativa 1 correspondiente al sensor MAX30100 ver figura 2.2, el cual es un sensor que mide los parámetros médicos de saturación de oxígeno y ritmo cardíaco.

Reguladores de voltaje



Led rojo e infrarrojo

Pines de salida

Figura 2-2 Sensor MAX30100 [17]

Para la medición de la temperatura corporal se obtiene como resultado ganador la alternativa 2 que corresponde al sensor infrarrojo GY-906 MLX90614 ver figura 2.3.



Infrarrojo

Pines de salida

Figura 2-3 Sensor GY-906 MLX90614 [18]

La funcionalidad de cada sensor dentro del sistema general es detectar el pulso del usuario y enviar lecturas de los parámetros a medir al microcontrolador para posteriormente visualizarlos en pantalla.

2.3.2. Alimentación del sistema

Con la finalidad de proveer energía a todos los componentes electrónicos, y que el dispositivo sea portátil, se utiliza la fuente de alimentación de la tarjeta Raspberry Pi 3B+ de 5V y 2.5A.

A continuación, se indica el diagrama de bloques de alimentación, ver figura 2.4, con todos los elementos que conforman el sistema electrónico.

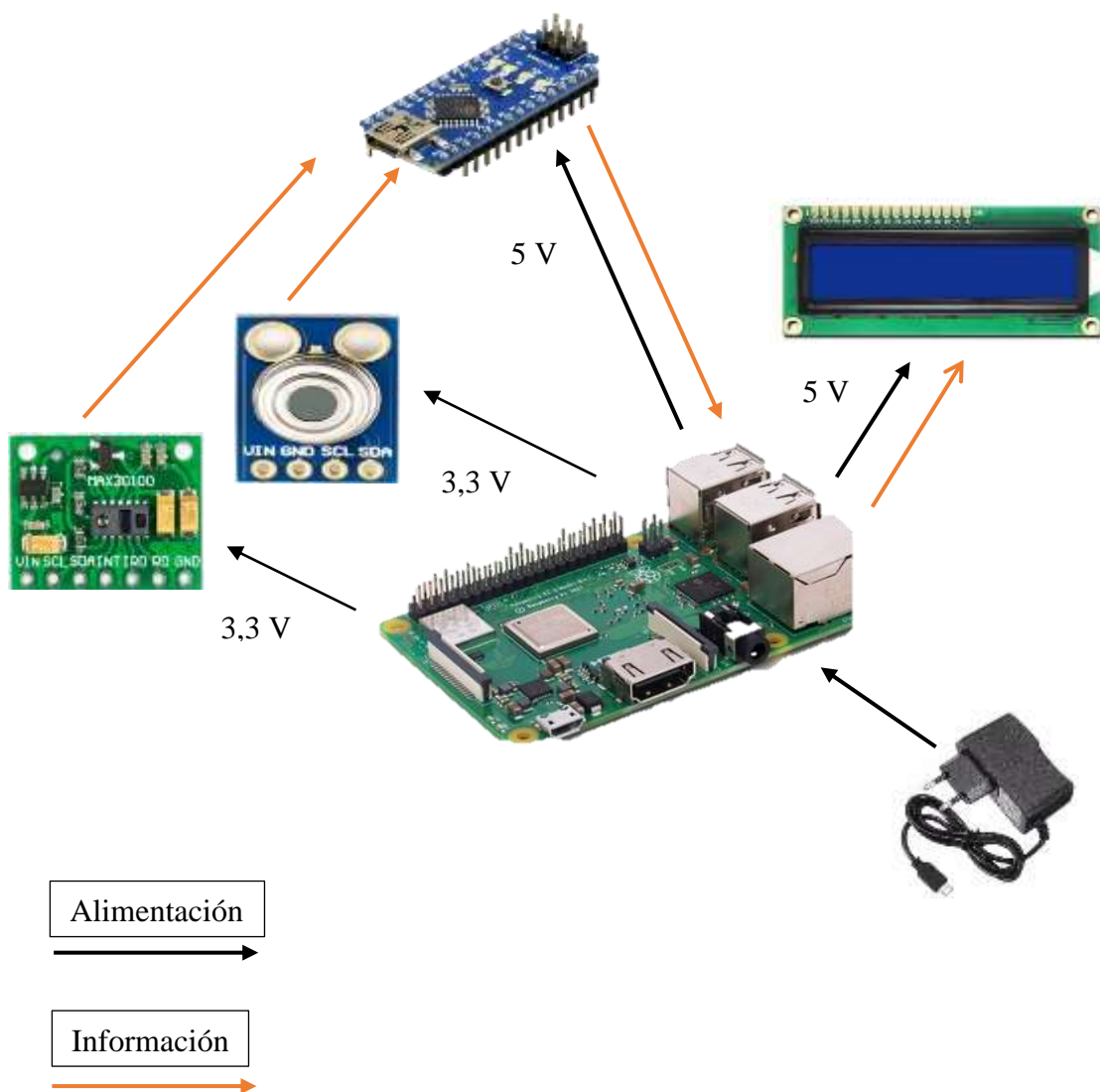


Figura 2-4 Diagrama de bloques de alimentación [Autor]

2.3.3 Comunicación del sistema

En esta etapa se trabaja con la placa Raspberry Pi 3 B+, ver figura 2.5, utilizando protocolos de comunicación como I2C y UART entre los componentes del sistema. Además, la placa cuenta con un número elevado de pines tanto de alimentación (5 V, 3.3 V) y de (GPIO) es decir, pines que se pueden usar como entradas o salidas para múltiples usos. Esta placa es la tarjeta de control principal y hará la petición al Arduino nano vía serial, luego registra los datos en un vector, obtiene la media de estos, espera la interrupción de los botones y por último permite visualizar las lecturas de los tres parámetros a medir en pantalla [19].

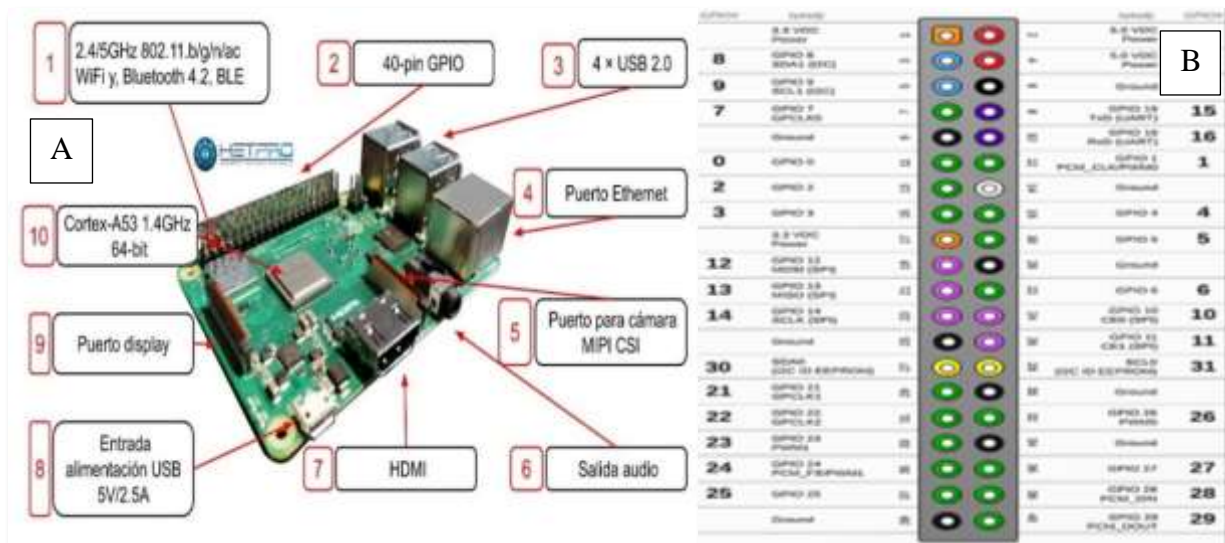


Figura 2-5 Placa Raspberry Pi 3B+, A) placa y módulos, B) pines [20]

Para garantizar la lectura de las tres variables que emiten los sensores seleccionados, se utilizó un Arduino nano, ver figura 2.6, el mismo que actúa como una tarjeta de adquisición de datos, el cual pide lecturas de las variables a medir a los dos sensores, espera petición de la placa Raspberry y envía los datos vía serial al puerto USB de esta.

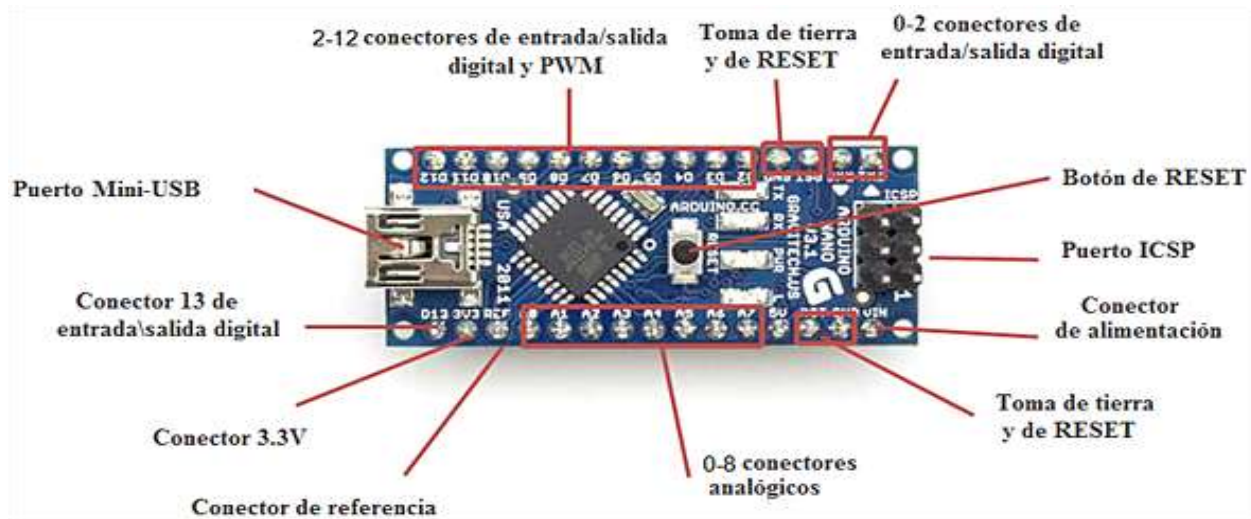


Figura 2-6 Tarjeta Arduino nano, descripción de las entradas/salidas [21]

Establecido todos los componentes a utilizar, se muestra el diagrama de bloques que conforman el sistema, ver figura 2.7, y el protocolo de comunicación aplicado para conectar los módulos entre sí.

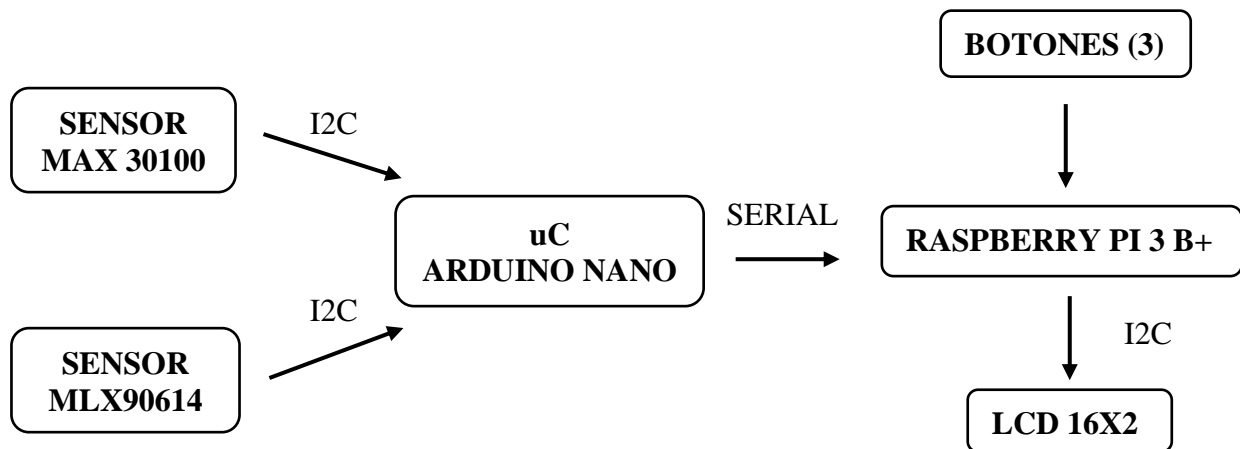


Figura 2-7 Diagrama de comunicación entre elementos que componen el sistema [Autor]

Para el desarrollo del sistema mecatrónico, es necesario diseñar un diagrama eléctrico general de comunicación de todos los elementos que componen el sistema para su posterior PCB, ver figura 2.8.

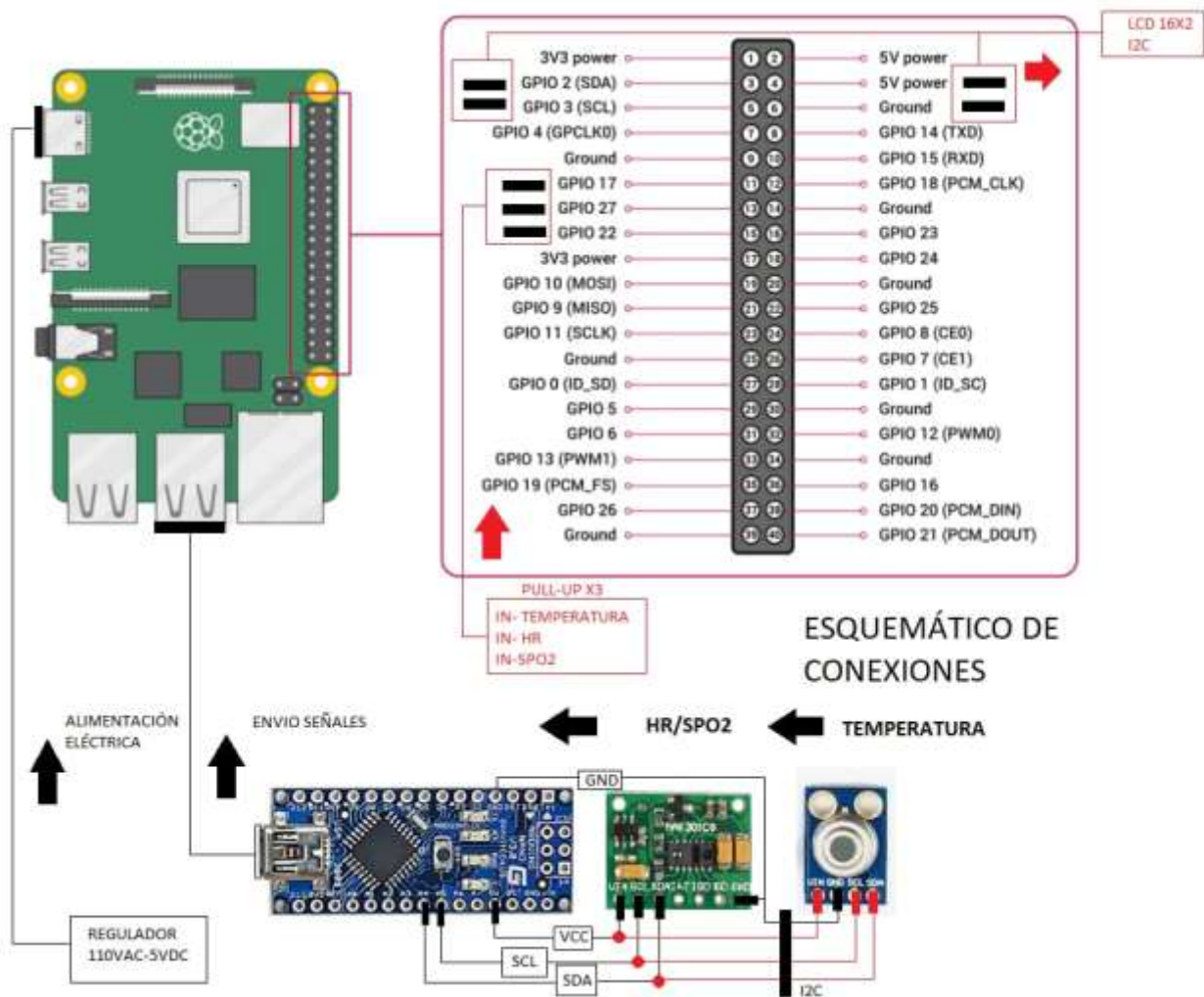


Figura 2-8 Diagrama eléctrico de comunicación del sistema [Autor]

2.3.4 Adquisición de datos del sistema

Una vez terminado la etapa de comunicación, se procede a desarrollar la programación para la adquisición de datos de los sensores. Se seleccionó el software de código libre Python, por su programación orientado a objetos de gran nivel, fácil admisión de librerías y paquetes biomédicos según los requerimientos del proyecto a desarrollar. La programación completa de todo el sistema se expone en el anexo #4 [22].

Para tener una mayor dinámica y evitar cualquier problema en las mediciones, visualizaciones y energización del circuito es necesario desarrollar un PCB, el mismo que permite un mejor control del circuito, obteniendo los espacios adecuados para la colocación de los componentes, y un mejor ajuste de estos ya que van soldados a una placa que lleva las pistas del circuito, por lo tanto, se tendrá una mejor protección.

El programa en cual se realizó el PCB es Eagle, que es un software libre destinado para el diseño de PBCs con autoenrutador y gran cantidad de bibliotecas de componentes disponibles en la red, a continuación, se muestra el diseño en dicho programa, ver figura 2.9, las dimensiones del PCB son de 7.5 cm x 7 cm.

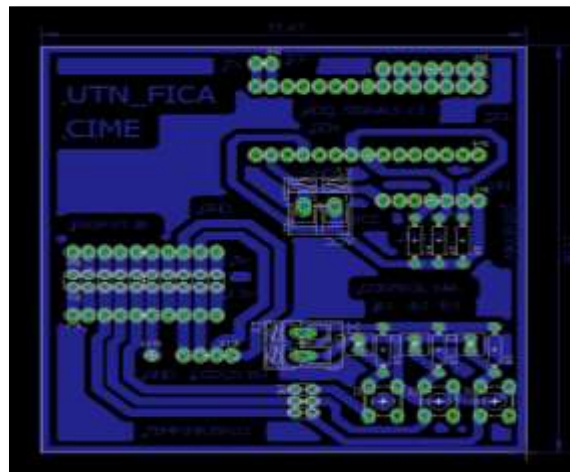


Figura 2-9 Diseño del PCB [Autor]

Para terminar este proceso, es necesario ubicar todos los elementos en la placa, la misma que está mecanizada en una fresadora ver figura 2.10, por último, se realiza las perforaciones para colocar los componentes electrónicos, se procede a soldar cada uno de los mismos y posteriormente obtener el circuito PCB deseado.

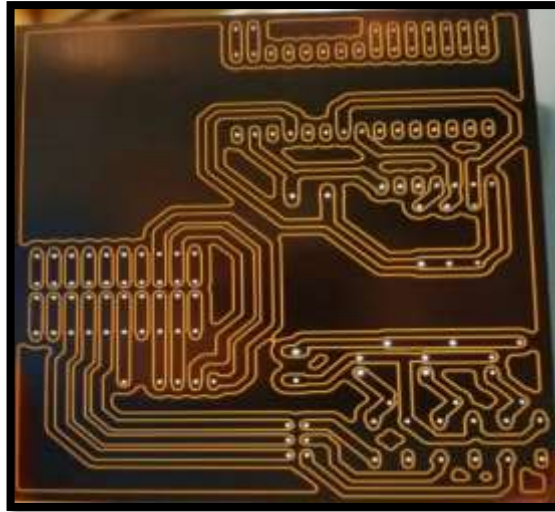


Figura 2-10 PCB mecanizada [Autor]

Una vez finalizado la placa final con la ubicación de todos los componentes, ver figura 2.11, es necesario realizar una validación del funcionamiento del sistema para verificar si existe algún error en la comunicación, programación, lectura de datos del sensor o la posibilidad de tener algún elemento desoldado.

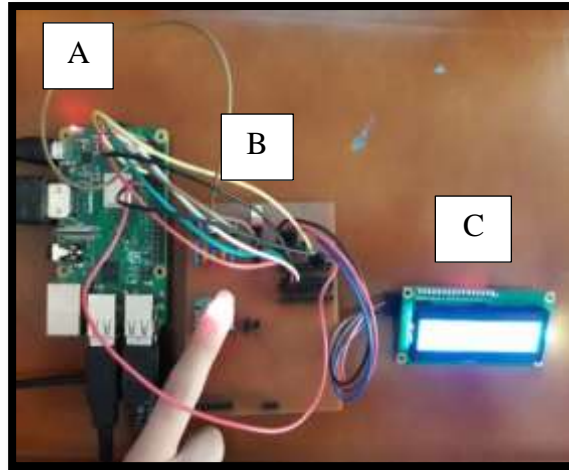


Figura 2-11 PCB y componentes del sistema, A) Raspberry Pi 3 B+, B) PCB, C) LCD [Autor]

2.3.5 Diseño e impresión 3D de la estructura del dispositivo

Para el diseño de la estructura del dispositivo se optó por trabajar con el software Blender, el mismo que está dedicado al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos en 3D, este programa posee una gran cantidad de herramientas que permite desarrollar los proyectos de forma rápida y sencilla [23].

Con la ayuda de las herramientas que posee el programa, se diseñó la parte superior de la estructura del juguete multifuncional, en la figura 2.12, se indica la vista frontal del oso impresa en 3D.

La estructura está destinada para el soporte de los elementos electrónicos del sistema, está impresa en PLA color blanco, misma que es resistente a la humedad, a la grasa, y se ha convertido en un material muy importante en el campo de la medicina gracias a sus propiedades donde es utilizado desde hace varios años en diversas aplicaciones [24].



Figura 2-12 Diseño 3D del juguete multifuncional, vista frontal [Autor]

Para ubicar los elementos electrónicos (sensores, circuito analógico, pantalla LCD, placa Raspberry y alimentación del sistema) en el interior del juguete, se optó por dividir al mismo en dos partes (parte A: superior y parte B: inferior), como se presenta en la figura 2.13, al final se unirán en un solo cuerpo.

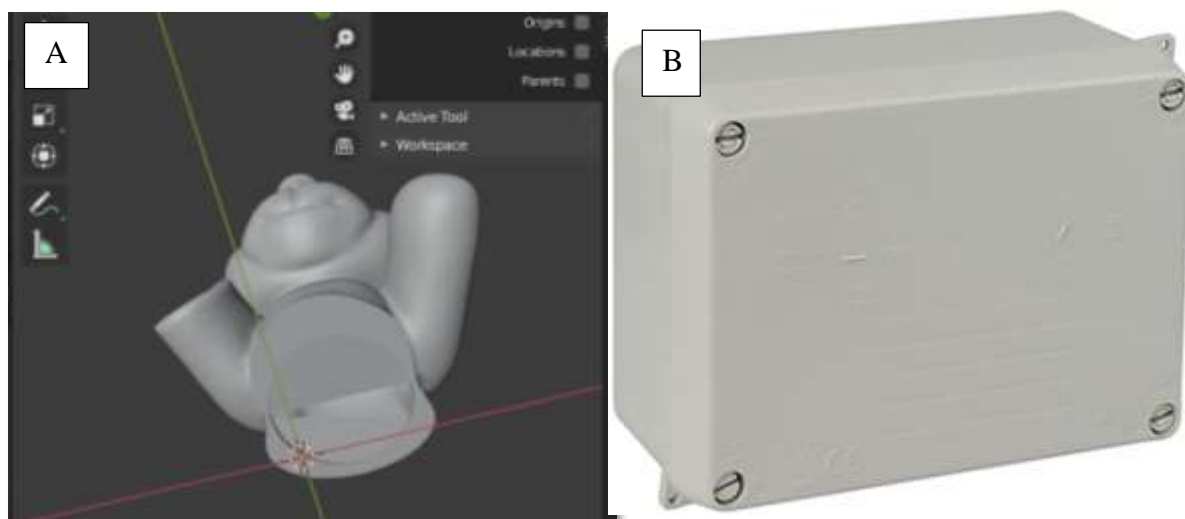


Figura 2-13 División del juguete multifuncional, A) parte superior, B) parte inferior [Autor]

En la parte posterior (cabeza del juguete), figura 2.14, tenemos la ranura donde se ubica la pantalla LCD para la respectiva visualización de resultados.



Figura 2-14 Diseño 3D del juguete multifuncional, vista posterior [Autor]

Además, en la parte inferior del juguete, figura 2.15, se opta por una caja plástica de conexiones, cuyas dimensiones son 17x8x11 cm y sirve para ubicar en su interior los componentes electrónicos y la botonera respectiva y medir los parámetros biomédicos establecidos.



Figura 2-15 Caja de conexiones (parte inferior) [Autor]

Por último, en la parte frontal, figura 2.16, tenemos el corte (parte A: mano y parte B: brazo) en el brazo derecho, el mismo que sirve para insertar el cableado interior de los sensores y ubicar los mismos en la posición deseada, es decir mano derecha del oso (sensor MAX30100) y mano izquierda (Sensor GY-906 MLX96014).

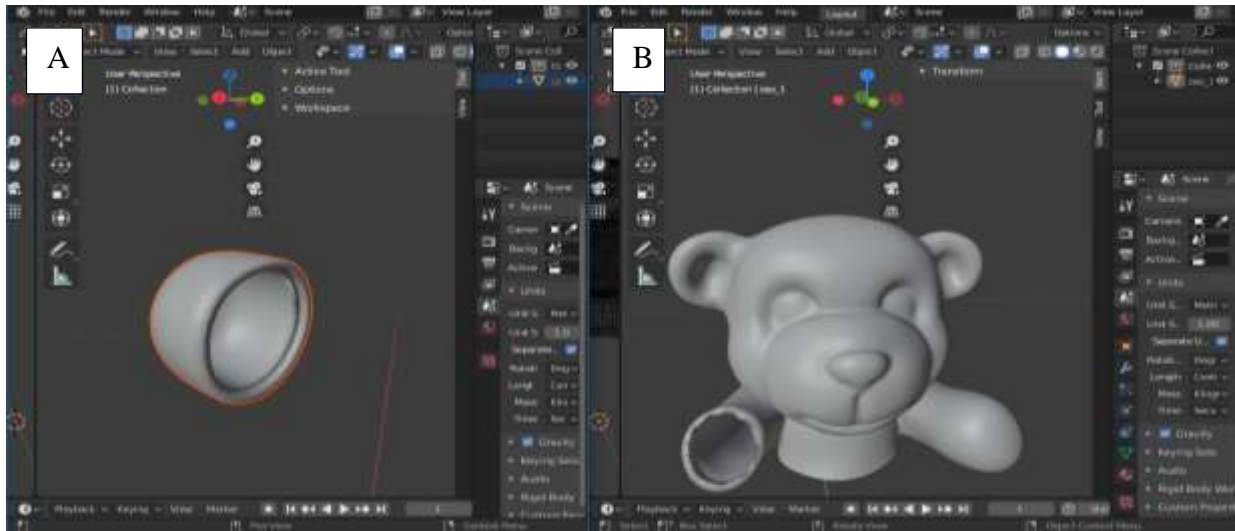


Figura 2-16 Diseño3D del juguete multifuncional con corte vista frontal, A) mano, B) brazo [Autor]

Una vez terminado el diseño de la estructura del juguete, se procede a la impresión 3D, la misma que se realizó en la impresora Ender 3, con filamento color blanco, ver figura 2.17.



Figura 2-17 Impresión 3D del juguete multifuncional, vista frontal [Autor]

2.3.6 Postproceso de la estructura del juguete

En impresión 3D generalmente se procede al denominado postprocesado, es decir, al conjunto de acciones que se hace sobre la pieza impresa para conseguir un mejor acabado. En algunas ocasiones, es imposible ocultar las capas de la impresión, las mismas que aparecen independientemente del filamento que se utilice.



En la estructura del juguete multifuncional se procedió obligatoriamente al postprocesado al no presentar un buen acabado luego de la impresión 3D, ver figura 2.18, realizando varios pasos para conseguir el acabado adecuado.



Figura 2-18 Impresión 3D del juguete multifuncional sin postprocesado, parte superior [Autor]

A continuación, se detalla todos los pasos realizados en el postprocesado y los materiales utilizados, ver tabla 2.14.

Tabla 2-14 Pasos del postprocesado [Autor]

Paso realizado	Fotografía	Material utilizado
<p>1. Eliminación de exceso de material y lijado inicial de la estructura después de la impresión 3D</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Lija de agua #800 • Lija de agua # 1000
<p>2. Colocación del fondo de relleno en la estructura del juguete.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Fondo de relleno • Catalizador

3. Colocación de macilla en la base de la parte superior de la estructura del juguete (cabeza)



- Macilla automotriz

4. Colocación de pintura base.



- Pintura color blanco poliéster

5. Pintura de detalles



- Pintura esmalte acrílica varios colores

2.3.7 Integración de las partes del sistema

Finalizado todas las etapas que abarca el desarrollo del juguete multifuncional, se procede al ensamblaje de la estructura mecánica con la parte electrónica, ver figura 2.19, siendo Raspberry Pi 3B+ la unidad central que comanda todo el sistema.

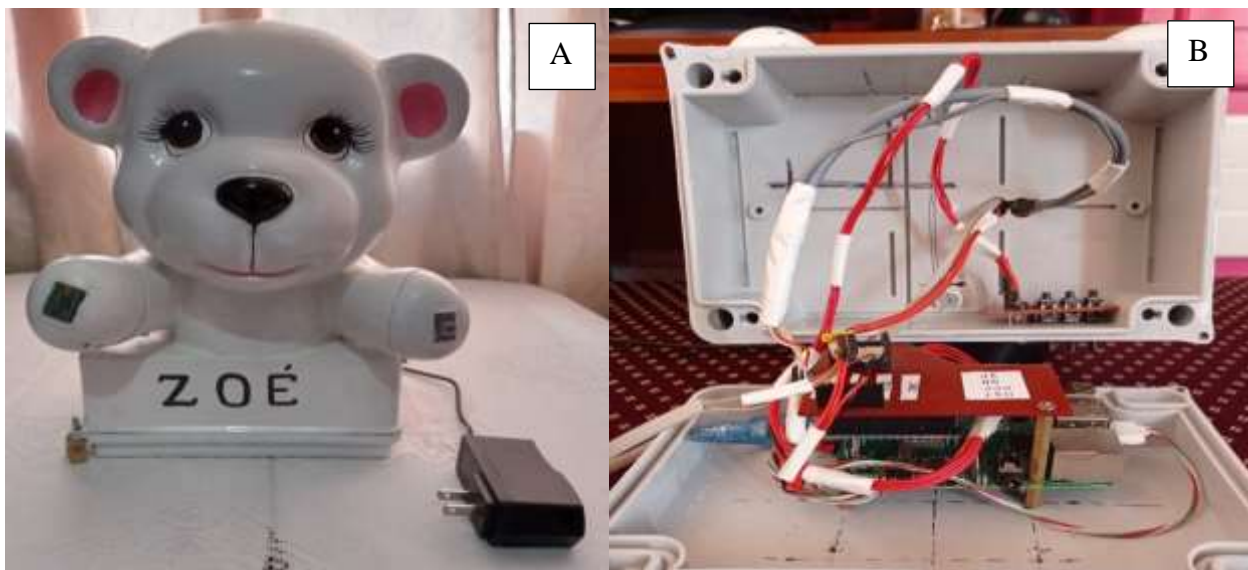


Figura 2-19 Integración del sistema, A) estructura mecánica, B) parte electrónica del sistema [Autor]

Además, se indica cada uno de los elementos que forma parte del sistema electrónico del juguete, ver figura 2.20.

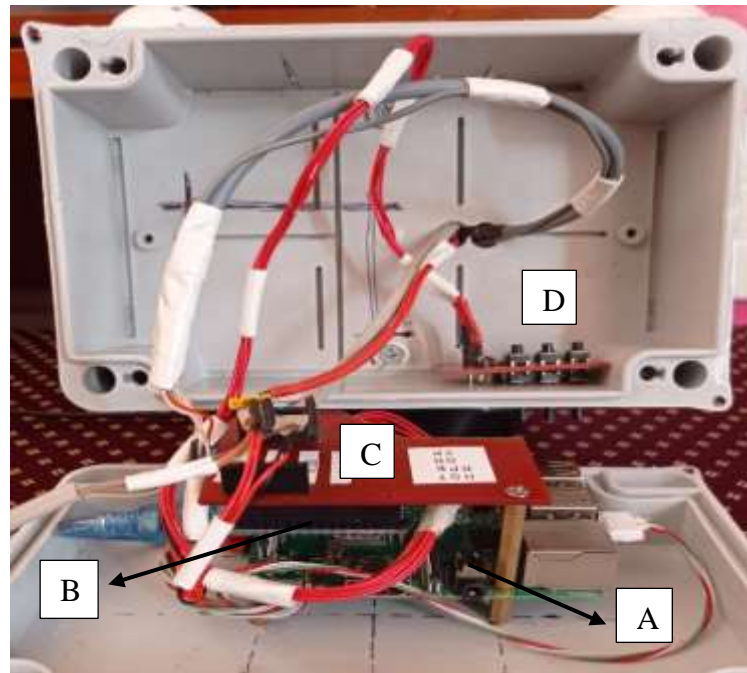


Figura 2-20 Elementos de la parte electrónica del sistema, A) Raspberrypi 3B+, B) Arduino nano, C) PCB, D) botonera [Autor]

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Pruebas

La población de estudio dada la emergencia sanitaria es de 10 personas con una edad comprendida entre 4 y 11 años, se realizará 2 pruebas a cada paciente, una incluye la medición de los tres signos vitales con el sistema desarrollado y otra prueba con el sistema comercial, con una pausa de 5 minutos entre cada prueba. Además, se debe mantener un ambiente lo mejor controlado posible, que no exista factores externos que causen una medición errónea, los mismos y más importantes son:

- Pigmentación de la piel y pintura de uñas: la piel oscura directamente tendría errores con las lecturas, especialmente la saturación de oxígeno, y el esmalte de uñas actúa como aislante de luz infrarroja y no permite tener una lectura adecuada [25].
- Interferencia electromagnética: la energía electromagnética puede ocasionar interferencia para una correcta lectura, produciendo un sobrecalentamiento de los sensores y como consecuencia tener lecturas bajas provocando valores falsos [25][26].
- Interferencia de la luz ambiental: altera la función del receptor de infrarrojo de los dos sensores [26].

3.1.1 Pruebas de funcionalidad del sistema

A continuación, se procede a las pruebas de funcionamiento del sistema desarrollado en los pacientes, ver figura 3.1, donde se registra los resultados de las mediciones y posteriormente se compara los mismos con un sistema comercial.

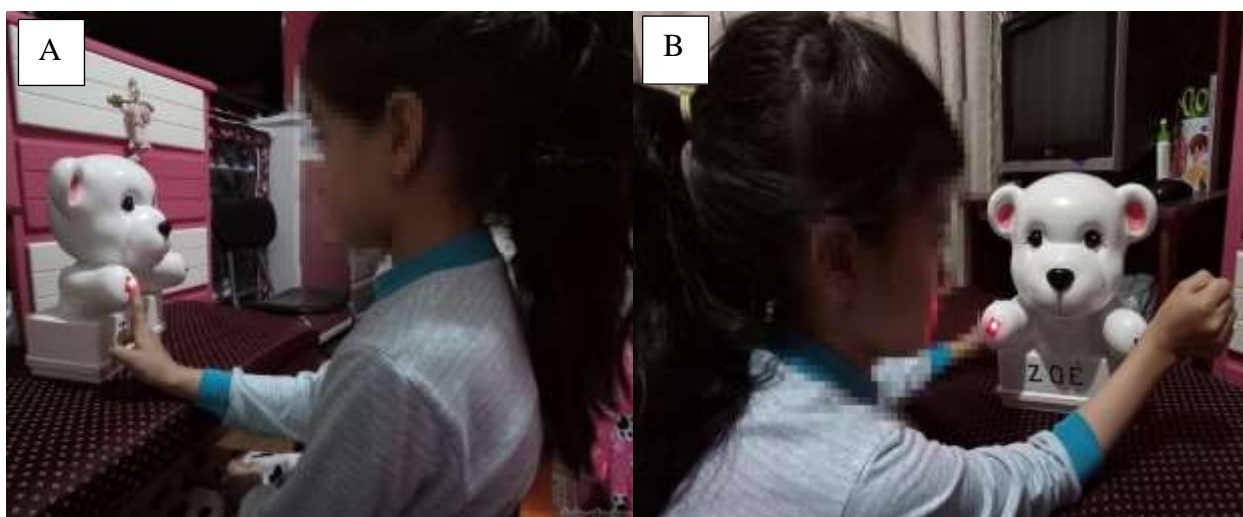


Figura 3-1 Prueba del sistema desarrollado con el paciente, A) medición de saturación de oxígeno y ritmo cardíaco), B) medición de temperatura corporal [Autor]

Tabla 3-1 Pruebas con el sistema desarrollado [Autor]

Paciente	Género F/M	Edad	Temperatura Corporal (°C)	Saturación de Oxígeno (%)	Ritmo Cardíaco (bpm)
1	M	4 años	37,06	96,00	96,20
2	F	5 años	36,10	96,00	98,63
3	F	6 años	36,69	97,00	86,13
4	F	6 años	36,59	96,00	82,50
5	F	7 años	36,25	97,00	94,51
6	F	9 años	36,60	96,80	84,62
7	M	9 años	36,06	96,00	92,18
8	M	9 años	36,02	95,00	69,14
9	F	10 años	37,00	96,00	76,33
10	F	11 años	36,06	96,00	78,84
TOTAL			364,43	961,8	886,08
PROMEDIO			36,44	96,18	88,61

3.1.2 Validación del sistema

Esta prueba se efectúa utilizando equipos comerciales, ver figura 3.2, es decir para el pulso cardíaco y la saturación de oxígeno se requiere un oxímetro digital, y para la temperatura corporal se necesita de un termómetro.

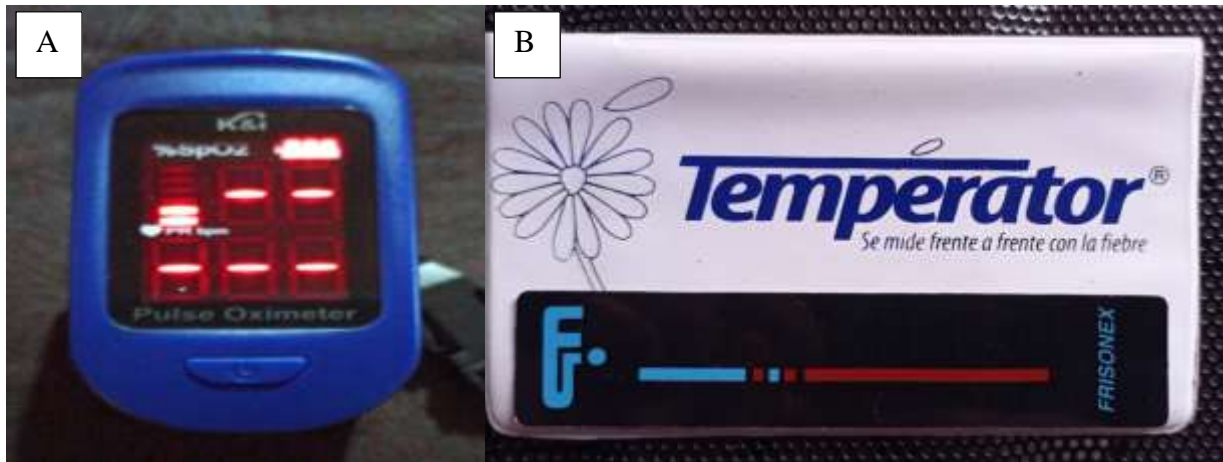


Figura 3-2 Dispositivos comerciales, A) oxímetro digital, B) termómetro [Autor]

El desarrollo de la prueba se realiza al paciente ver figura 3.3, en la cual se registra los resultados de las mediciones, para el posterior análisis de estos con los valores obtenidos del sistema desarrollado.

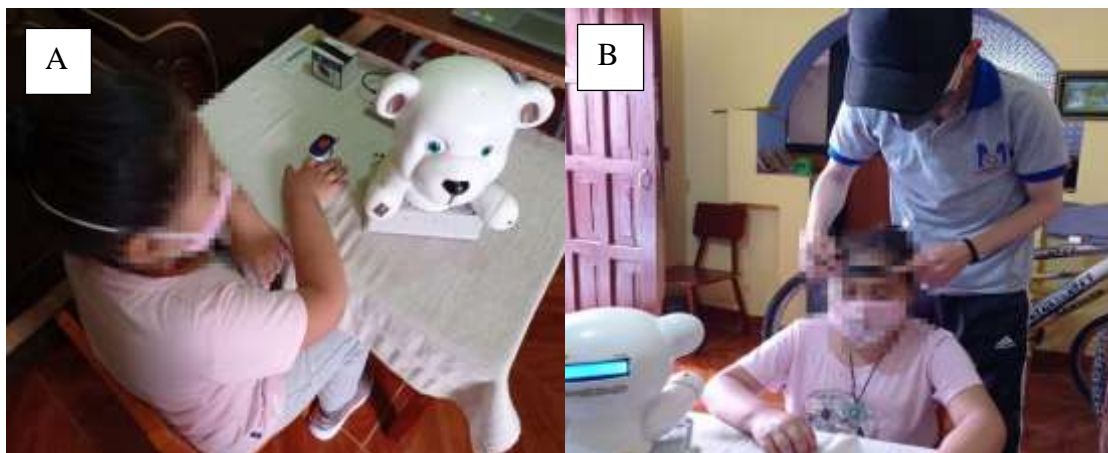


Figura 3-3 Prueba del sistema comercial con el paciente, A) oxímetro digital, B) termómetro [Autor]

Tabla 3-2 Pruebas con el sistema comercial [Autor]

Paciente	Género F/M	Edad	Temperatura Corporal (°C)	Saturación de Oxígeno (%)	Ritmo Cardíaco (bpm)
1	M	4 años	36	99	99
2	F	5 años	37	98	99
3	F	6 años	36	95	90
4	F	6 años	37	97	87
5	F	6 años	36	97	96
6	F	7 años	36	96	85
7	M	9 años	36	94	98
8	M	9 años	36	94	67
9	F	10 años	37	97	81
10	F	11 años	37	97	84
TOTAL			364	964	896
PROMEDIO			36,4	96,4	89,6

3.2 Análisis de Resultados

Como análisis de resultados es necesario hacer una comparación en conjunto de los datos obtenidos con el sistema comercial y el sistema desarrollado para determinar el porcentaje de error.

Para calcular el porcentaje de error, se determina como se muestra en la ecuación 3.1, teniendo en cuenta que el valor real es del oxímetro y termómetro, y el valor aproximado es del juguete multifuncional [27].

$$\% \text{ error} = \frac{|\text{valor aproximado} - \text{valor real}|}{\text{valor real}} \times 100$$

Ecuación 3-1

- Temperatura corporal (°C)

Tabla 3-3 Porcentaje de error de la medición de temperatura corporal [Autor]

Paciente	Sistema Comercial	Sistema Desarrollado	% Error
1	36	37,06	2,94
2	37	36,10	2,43
3	36	36,69	1,92
4	37	36,59	1,11
5	36	36,25	0,69
6	36	36,60	1,67
7	36	36,06	0,17
8	36	36,02	0,06
9	37	37,00	0,00
10	37	36,06	2,54
TOTAL	364	364,43	13,53
PROMEDIO	36,4	36,44	1,35

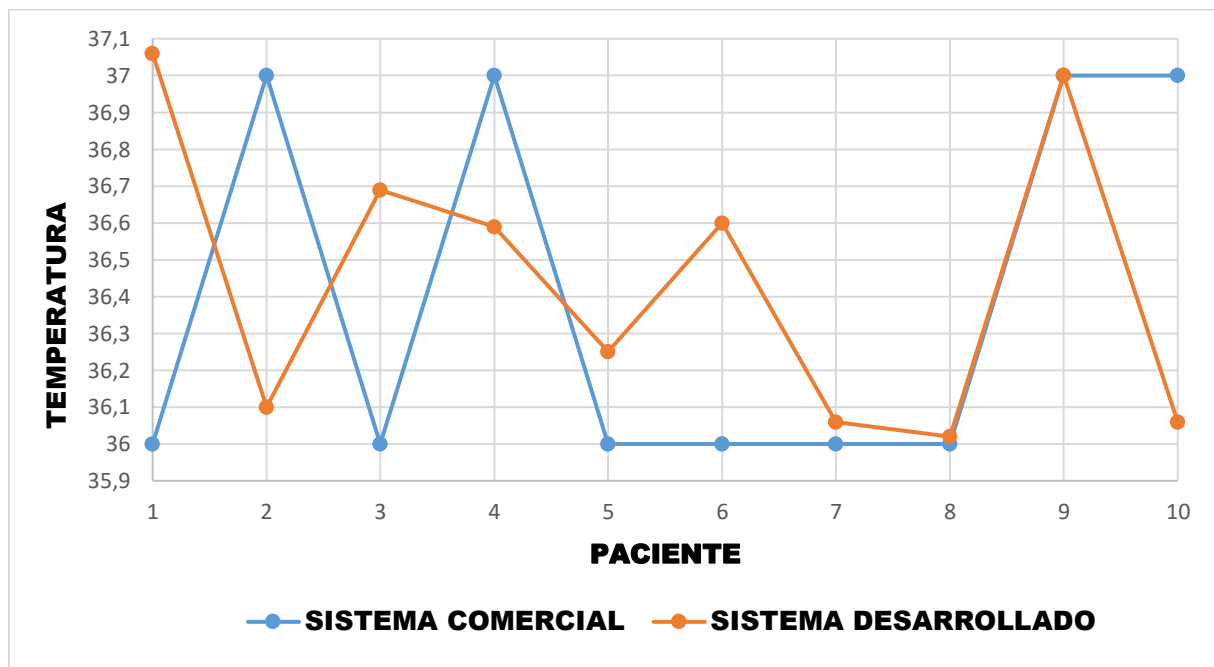


Figura 3-4 Comparativa de mediciones de temperatura corporal entre sistema comercial y desarrollado [Autor]

Al obtener los resultados de los diez niños, se deduce que se encuentran en un estado normal dentro de los rangos determinados, sin presentar elevado o baja temperatura corporal considerable, es decir, sin alteraciones que ponga en riesgo su salud.

En base al gráfico comparativo, no existe gran variación entre el sistema comercial (valor máximo: 37 °C y valor mínimo: 36°C) y el sistema creado (valor máximo: 37,02 °C y valor mínimo: 36,02 °C), con un error promedio de 1,35 %, dando como resultado que el sistema desarrollado tiene buena funcionalidad.

- Saturación de oxígeno (%)

Tabla 3-4 Porcentaje de error de la medición de saturación de oxígeno [Autor]

Paciente	Sistema Comercial	Sistema Desarrollado	% Error
1	99	96,00	3,03
2	98	96,00	2,04
3	95	97,00	2,11
4	97	96,00	1,03
5	97	97,00	0,00
6	96	96,80	0,83
7	94	96,00	2,13
8	94	95,00	1,06
9	97	96,00	1,03
10	97	96,00	1,03
TOTAL	964	961,8	14,29
PROMEDIO	96,4	96,18	1,43

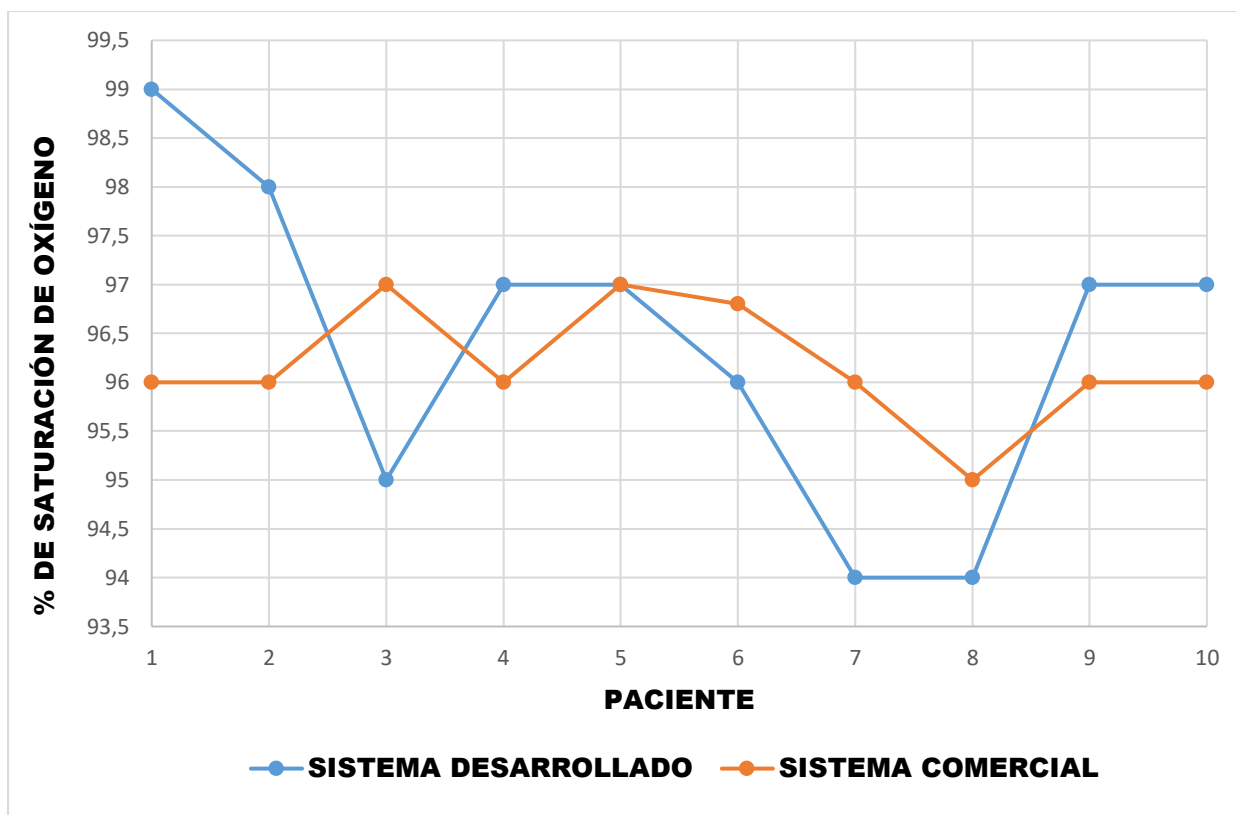


Figura 3-5 Comparativa de mediciones de saturación de oxígeno entre sistema comercial y desarrollado [Autor]

Los valores obtenidos de los diez niños, indica que se encuentran dentro de los rangos normales, es decir entre el 95% y 100%, por lo tanto, no presentan complicaciones en su salud y no requieren de ninguna asistencia médica.

En base al gráfico comparativo, no existe gran variación entre el sistema comercial (valor máximo: 99 % y valor mínimo: 94 %) y el sistema creado (valor máximo: 97 % y valor mínimo: 95 %), con un error promedio de 1,43 %, dando como resultado que el sistema desarrollado tiene buena funcionalidad.

- Ritmo cardíaco (bpm)

Tabla 3-5 Porcentaje de error de la medición de ritmo cardíaco [Autor]

Paciente	Sistema Comercial	Sistema Desarrollado	% Error
1	99	96,20	2,83
2	99	98,63	0,37
3	90	86,13	4,3
4	87	82,50	5,17
5	96	94,51	1,55
6	85	84,62	0,45
7	98	92,18	5,95
8	67	69,14	3,19
9	81	76,33	5,77
10	84	78,84	6,38
TOTAL	896	886,08	35,96
PROMEDIO	89,6	88,61	3,6

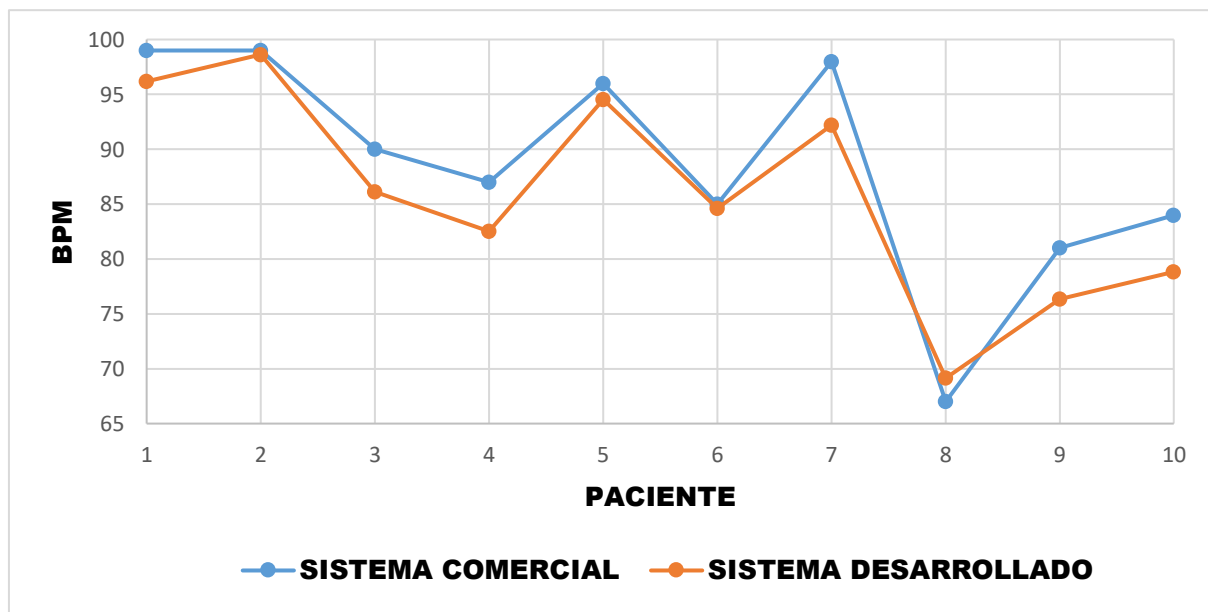


Figura 3-6 Comparativa de mediciones de ritmo cardíaco entre sistema comercial y desarrollado [Autor]

Los resultados obtenidos de los diez niños determinan que se encuentran dentro de los rangos normales, los mismos que son entre 43 y 180 latidos por minuto, arrojando un valor normal y óptimo, es decir, sin presentar ningún tipo de alteración que requiera de asistencia médica.

En base al gráfico comparativo, no existe gran variación entre el sistema comercial (valor máximo: 99 bpm y valor mínimo: 67 bpm) y el sistema creado (valor máximo: 98,63 bpm y valor mínimo: 69,14 bpm), con un error promedio de 3,6 %, dando como resultado que el sistema desarrollado tiene buena funcionalidad.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La revisión literaria y consultas realizadas a personal de salud, coinciden que los signos vitales más importantes para un paciente (niños) son: temperatura corporal, saturación de oxígeno, ritmo cardíaco y presión arterial, siendo los tres primeros seleccionados como parte del proyecto desarrollado.
- A pesar de existir un gran número de sensores para medir los signos vitales, muy pocos integran varias funciones en el mismo. Además, algunos dispositivos son demasiados sensibles, llegando a quemarse rápidamente por el uso prolongado. Por lo tanto, después de pruebas realizadas se utilizó los sensores MAX30100 Y GY – MLX90614, por ser no invasivos, pequeños, disponibles en el mercado ecuatoriano y para aplicaciones médicas.
- Las dimensiones del dispositivo son: 30x18x19 cm, medidas estándares de un juguete común. El peso es de 3,38 lb (1,53 kg), lo que hace fácil de transportar. Además, el material de la estructura, PLA, es idóneo para prototipado, investigaciones y aplicaciones médicas; debido a sus propiedades y características de fabricación. En el postproceso, la pintura esmalte acrílica se aplica al prototipo con el fin de tener un acabado más fino, limpieza fácil e hipoalergénico.
- El prototipo desarrollado cumple con las características de ser no invasivo y liviano para niños ecuatorianos, ya que para la medición de los signos vitales como: temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardíaco se utilizaron sensores no invasivos. Mediante una pantalla LCD, se visualizan los resultados de los mismos de manera

individual. Demostrando la integración de varios sensores en uno solo para realizar la medición de los tres signos vitales.

- Para la validación del funcionamiento del sistema mecatrónico desarrollado, se realizaron evaluaciones con 10 niños. Como resultado de las pruebas, se concluye que el comportamiento del sistema es bueno en comparación a los dispositivos comerciales, ya que el porcentaje de error obtenidos es mínimo. En el caso de la temperatura corporal el promedio es 1.35%, Saturación de oxígeno: 1,43% y Ritmo Cardíaco: 3,6%.

4.2 Recomendaciones

- Las pruebas de funcionamiento del presente proyecto se realizaron solamente a 10 personas por la situación anteriormente mencionada dentro del alcance de este, por lo tanto, se recomienda a futuro realizar la medición de los tres signos vitales en una institución médica con pacientes (niños), para que el dispositivo opere en el ambiente para el cual fue desarrollado.
- Para el correcto uso del juguete multifuncional, es necesario leer previamente el manual de usuario, lo que permitirá obtener información sobre el manejo del dispositivo para obtener los resultados de los parámetros medidos y realizar una posterior interpretación de estos por parte del personal de salud.

Trabajo a futuro

Es muy importante resaltar que los alcances logrados durante el proyecto de tesis fueron buenos, logrando medir tres signos vitales por medio de dos sensores no invasivos, y cuyos valores se visualizan en una pantalla, dando como resultado un juguete multifuncional en forma de oso para el monitoreo de las variables, como trabajo futuro, faltaría agregar las variables de presión arterial y frecuencia respiratoria, pues sería un complemento idóneo al sistema desarrollado.

Para la parte electrónica, que abarca la integración de varios elementos y estructura mecánica del juguete, se podría sustituir a un nuevo diseño con medidas más pequeñas de la trabajada en el presente proyecto, de igual forma que no sea incómodo de transportar y con la posibilidad de comunicación con otros dispositivos, es decir, con teléfonos celulares por medio de una app o una interfaz gráfica de usuario en una computadora para crear una base de datos y el personal médico haga uso de los mismos en el momento necesario, disponiendo de un historial clínico del paciente.

De acuerdo al nivel de madurez tecnológico se espera que este tipo de dispositivos pase al siguiente nivel, no se quede en fase de pruebas y sea usado en el ambiente para el cual fue desarrollado como son hospitales de primer a tercer nivel, clínicas u hogares, lo que se busca con esto, es que sea un beneficio para la sociedad ecuatoriana más que un bien propio.

Referencias

- [1] Aguilera Pérez, P., & Whetsell, M. “La ansiedad en niños hospitalizados,” AQUICHAN, vol. VII, n° 2, 2007.
- [2] G. (2018, 6 de octubre). Emergencias Médicas - Proteja a sus niños: las emergencias que atendemos con mayor frecuencia. Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de <https://www.emergenciasmedicas.com/emergencias-frecuentes-en-ninos/>
- [3] Centro Médico de la Universidad de Rochester. (2020). Signos vitales (temperatura corporal, pulso, frecuencia respiratoria y presión arterial). Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de <https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content.aspx?ContentTypeID=85&ContentID=P03963>
- [4] Tintín Durán, E.I. “Diseño y elaboración de un Prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles,” UPS. Cuenca. 2015
- [5] Cobos Torres, J. C., & Abderrahim, M. “Sistema de Supervisión no invasivo de Signos Vitales con un robot.,” pp. 366-370, 2-4. septiembre 2015
- [6] Gutiérrez Cisternas, J C. A. “Sistema de Monitoreo Continuo de Signos Vitales con Sensores No Invasivos y Transmisión Inalámbrica de Datos,” FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, UdeC. Concepción. 2016

- [7] Cortez López, H., & Rivera Olvera, L. A. (2010). "Diseño y construcción de un interfaz de medición de signos vitales para Priorizar la atención medica en el servicio de urgencias de un hospital General De zona". México: Escuela superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica unidad Culhuacán IPN.
- [8] Cobo, D., & Daza, P. (2013). Signos vitales en pediatría. GASTROHNUP, 58-70.
- [9] Talamas Márquez, G., & J. J. (2013). HABILIDADES BÁSICAS III - Práctica #3.1: TOMA DE SIGNOS VITALES. Recuperado el 13 de enero de 2020, de http://famen.ujed.mx/doc/manual-de-practicas/a-2016/03_Prac_01.pdf
- [10] Velásquez, J. N., García Niño, M., & Gómez Moya, G. (2002, octubre). Vista de Valores de referencia de saturación arterial de oxígeno mediante pulso-oximetría en niños sanos de Bucaramanga. Recuperado el 15 de enero de 2020, de <https://revistas.unab.edu.co/index.php/medunab/article/view/253/236>
- [11] Liip. Monitor Inteligente Liip. (2019). Recuperado el 11 de febrero de 2020, de <https://liip.care/es/>
- [12] AULISA. Ángel de la guarda ® GA2000. (2019). Recuperado el 11 de febrero de 2020, de <https://aulisa.com/consumer/guardian-angel-ga2000>
- [13] De Frutos, A. M. (2015, 27 de abril). Teddy The Guardian: el oso de peluche que mide datos médicos. Recuperado el 17 de febrero de 2020, de <https://computerhoy.com/noticias/life/teddy-guardian-oso-peluche-que-mide-datos-medicos-27527>

- [14] Ing. Dean, R. A. La investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería.
Recuperado el 17 de marzo de 2020, de
<https://www.unrc.edu.ar/publicar/23/dossidos.html>
- [15] Maxim Integrated. Biosensores - Búsqueda paramétrica. (2019). Recuperado el
23 de abril de 2020, de [https://para.maximintegrated.com/en/results.mvp?fam=](https://para.maximintegrated.com/en/results.mvp?fam=bio-sensors&tree=master)
[bio-sensors&tree=master](https://para.maximintegrated.com/en/results.mvp?fam=bio-sensors&tree=master)
- [16] Calderón, A. (2017, 12 de octubre). Matriz de selección. Recuperado el 06 de mayo de
2020, de <https://cenincal.com/matriz-de-seleccion/>
- [17] NAYLAMPMECHATRONICS. (2020). PULSIOXÍMETRO MAX30100. Recuperado el
06 de mayo de 2020, de [https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-](https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/234-sensor-de-temperatura-analogico-lm35.html)
[humedad/234-sensor-de-temperatura-analogico-lm35.html](https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/234-sensor-de-temperatura-analogico-lm35.html)
- [18] NAYLAMPMECHATRONICS. (2020). SENSOR DE TEMPERATURA MLX90614.
Recuperado el 06 de mayo de 2020, de [https://naylampmechatronics.com/sensores-](https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html)
[temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html](https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html)
- [19] Raspberrypi. (2020). Raspberry Pi 3 Modelo B +. Recuperado el 19 de mayo de 2020, de
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/?resellerType=home>
Raspberrypi. (2020).
- [20] Raspberry Pi 3 Modelo B +. Recuperado el 19 de mayo de 2020, de
[https://static.raspberrypi.org/files/product-](https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/200206+Raspberry+Pi+3+Model+B+plus+Product+Brief+PRINT&DIGITAL.pdf)
[briefs/200206+Raspberry+Pi+3+Model+B+plus+Product+Brief+PRINT&DIGITAL.pdf](https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/200206+Raspberry+Pi+3+Model+B+plus+Product+Brief+PRINT&DIGITAL.pdf)
- [21] Arduino. (2020). Arduino Nano. Recuperado el 20 de mayo de 2020, de
<https://arduino.cl/arduino-nano/>

- [22] Python. (2020). ¿ Qué es Python?. Recuperado el 23 mayo de 2020, de <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>.
- [23] Blender. (2020). Acerca de. Recuperado el 29 de octubre de 2020, de <https://www.blender.org/about/>
- [24] L. Serna C., A. Rodríguez de S., y F. Albán A. "Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones," inycomp, vol. 5, n.º 1, pp. 16-26, oct. 2003.
- [25] Dr. Mejía Salas, H., & Mejía Suárez, M. "Oximetría de pulso," Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría, vol. 52, n° 2, La Paz, 2012.
- [26] Gómez Alba, R. "Desarrollo de sistema para detección del estado vigilia mediante la frecuencia Cardiaca," Facultad de Ingeniería DIE UNAM. México. 2012
- [27] MiniWebtool. (2020). Cálculo del porcentaje de error. Recuperado el 05 de junio de 2021, de <https://miniwebtool.com/es/>
- [28] PLATAFORMA VINCÚLATE. (2021). NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA. Recuperado el 03 de mayo de 2021, de <http://vinculate.concytec.gob.pe/niveles-de-madurez>

ANEXOS

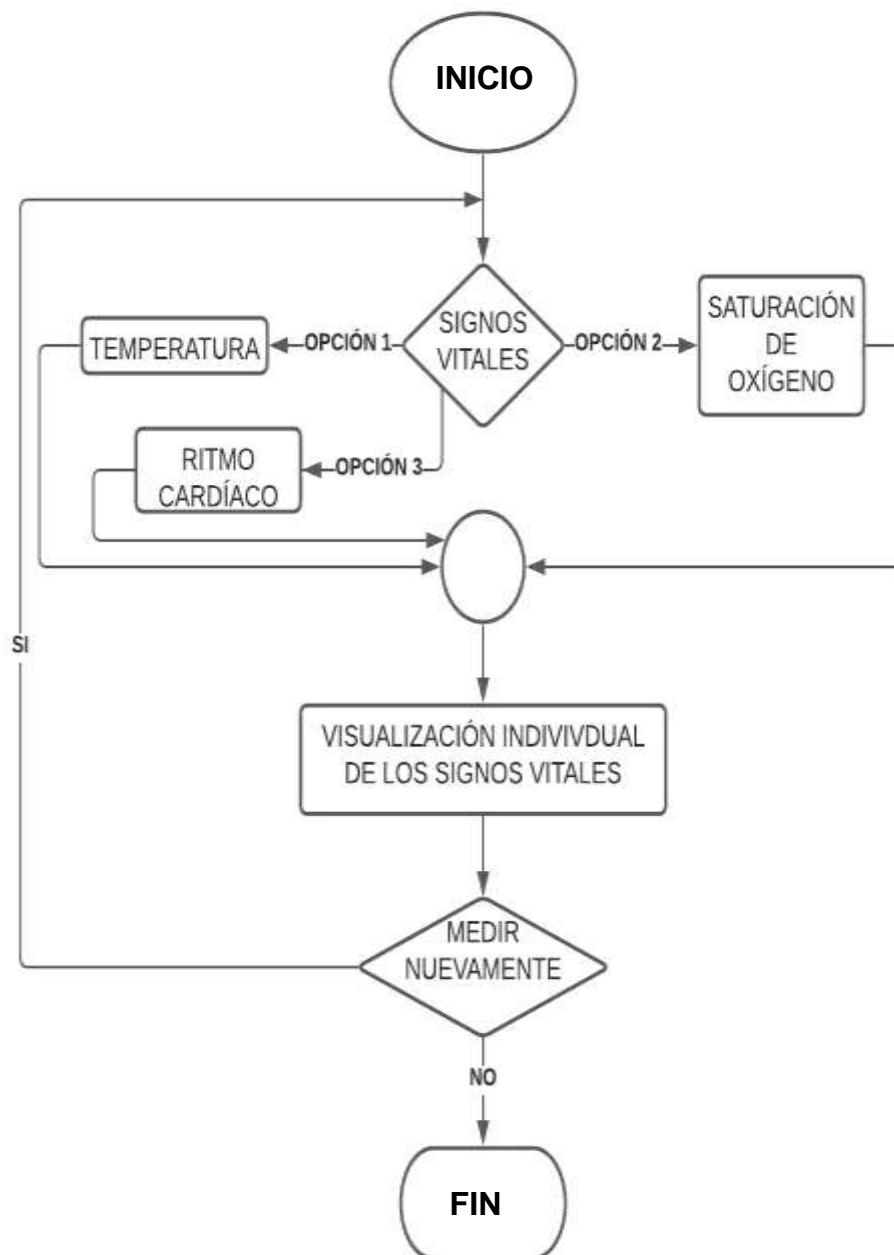
Anexo 1: Análisis financiero

En la siguiente tabla se detalla la estimación de costos para la construcción del sistema, tomando en cuenta las horas de desarrollo, cuyos materiales son: sensores, elementos electrónicos, PCB, impresión 3D realizada con impresora perteneciente a la carrera de Mecatrónica y postprocesado.

Detalle	Costo
Sensores	\$30
Tarjeta Raspberry Pi 3B+	\$70
PCB mecanizada	\$10
Software para diseño mecánico (software libre)	\$0
Elementos electrónicos adicionales	\$50
Gestión del proyecto (mano de obra)	\$0
Impresión 3D – material PLA	\$50
Postprocesado	\$30
Total	\$240

No se puede presentar un precio definitivo comercial del sistema, ya que el dispositivo se encuentra en un nivel de madurez tecnológico TRL 4, es decir, esta etapa se caracteriza por el desarrollo de un prototipo tecnológico con componentes básicos integrados para ser probados en un ambiente simulado, donde se ponen a prueba las principales características que tiene el dispositivo desarrollado [28]. Además, tampoco se ha tomado en cuenta los costos de mantenimiento del dispositivo ni los costos de producción en masa

Anexo 2: Diagrama de flujo del funcionamiento general del sistema



Anexo 3: Manual de usuario

NOMBRE: Juguete Multifuncional para Detección de Señales Biomédicas en Niños en Estado de Ansiedad.



ÁREA: Medicina - Pediatría

PROPÓSITO

El manual tiene como finalidad ser una guía básica de operación del Juguete Multifuncional para Detección de Señales Biomédicas en Niños; permitiendo al lector adquirir las destrezas y conocimientos necesarios para la operación adecuada del sistema y sea una herramienta de medición de signos vitales de primera mano para el usuario en cualquier momento.

INTRODUCCIÓN

El sistema denominado Juguete Multifuncional para Detección de Señales Biomédicas en Niños en Estado de Ansiedad, fue creado con el objetivo de facilitar al personal de salud la medición de los signos vitales, brindando una herramienta tecnológica que permite medir tres variables en un solo sistema otorgando resultados confiables. El funcionamiento de este sistema consiste en medir

tres signos vitales como son: temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardiaco. Además, permite al usuario visualizar los resultados en pantalla para un posterior análisis por parte del personal de salud.

ACTIVIDADES PARA REALIZAR

Paciente:

1. Lavarse y secarse las manos antes de la prueba o usar gel antibacterial para que no exista ninguna interferencia en los sensores.
2. Sentarse de manera adecuada, es decir, la espalda recargada en el respaldo de la silla manteniendo una buena postura, ver figura 1, de tal manera que esté lo más cómodo posible durante la prueba.

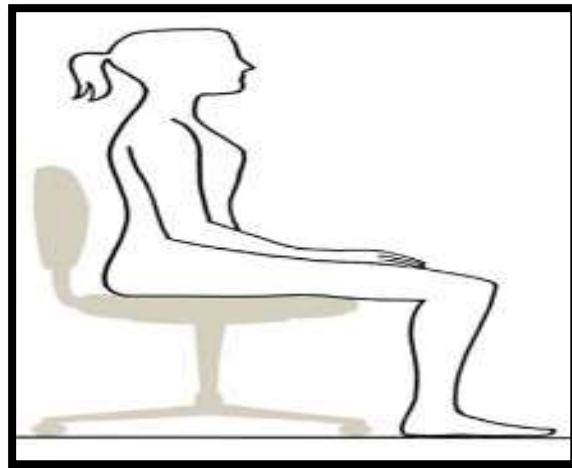


Figura 1 Posición recomendada durante la prueba

3. Colocar el dedo índice del paciente, ver figura 2, en el sensor MAX30100 (mano derecha del oso – medición de saturación de oxígeno y ritmo cardíaco), y acercar la mano al sensor

MLX90614 (mano izquierda del oso – medición temperatura corporal), como se muestra en la figura 3.



Figura 2 Medición de saturación de oxígeno y ritmo cardíaco



Figura 3 Medición de temperatura corporal

Personal de salud:

1. Conectar el juguete

2. Visualizar en pantalla el mensaje: **BIENVENIDO**

3. Visualizar en pantalla el mensaje: **U. TÉCNICA
DEL NORTE**

4. Visualizar en pantalla el mensaje: **INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA**

5. Visualizar en pantalla el mensaje: **SISTEMA DE
MONITOREO**

6. Visualizar en pantalla el mensaje: **MEDIR TEMP/
HR/ SPO2**

7. Pulsar el botón del parámetro que desea medir.

8. Visualizar en pantalla el resultado de la medición y esperar nuevamente el mensaje:

**MEDIR TEMP/
HR/ SPO2** y pulsar el botón del siguiente parámetro a medir.

9. En el caso de no medir nuevamente ningún parámetro, se recomienda desconectar el juguete.



NO ARROJAR AGUA AL DISPOSITIVO



PROHIBIDO GOLPEAR

Anexo 4: Código de programación Arduino y Python

#CONFIGURACIÓN Y ENVÍO DATOS DE SENSORES (ARDUINO)

```
//Llamado librerías
#include <Wire.h>
#include "MAX30100_PulseOximeter.h"
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#define REPORTING_PERIOD_MS      1000
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

PulseOximeter pox;

uint32_t tsLastReport = 0;

void onBeatDetected()
{
    Serial.println();
}

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    Serial.print(" init1.. ");
    Serial.println(" init2.. ");

    if (!pox.begin())
    {
        Serial.println("F");
        for(;;);
    }
    else
    {
        Serial.println("S");
    }
    pox.setOnBeatDetectedCallback(onBeatDetected);
}
```

```

void loop()
{
    pox.update();

    if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {

        Serial.print(pox.getHeartRate());
        Serial.print(",");
        Serial.print(pox.getSpO2());
        Serial.print(",");
        mlx.begin();
        Serial.print(mlx.readAmbientTempC());
        Serial.print(",");
        Serial.print(mlx.readObjectTempC());
        Serial.println();
        tsLastReport = millis();
    }
}

```

#CONFIGURACIÓN PUERTO SERIAL (PYTHON)

```

#Llamado librerías
import serial
puerto = serial.Serial ("/dev/ttyUSB0",baudrate=115200,timeout=1)
lectura =0
import i2c_lcd
lcd1 = i2c_lcd.lcd()

def adq():

    datos=puerto.readline()
    trama=str(datos)
    Ext_IN = (trama[2:]) #Lectura sin el extremo de entrada de trama
    Ext_OUT = (Ext_IN[0:-5]) #Lectura sin el extremo de salida de
                           trama salto de línea

    return Ext_OUT

"""
while True:
    print(adq())
    lcd1.lcd_display_string_pos(str(adq()),2,1) #Lectura de trama ok 4
                                                valores
"""

```

CONFIGURACIÓN LCD 16X2 (PYTHON)

```
import smbus
from time import *
ADDRESS = 0x27

# Comandos
LCD_CLEARDISPLAY = 0x01
LCD_RETURNHOME = 0x02
LCD_ENTRYMODESET = 0x04
LCD_DISPLAYCONTROL = 0x08
LCD_CURSORSHIFT = 0x10
LCD_FUNCTIONSET = 0x20
LCD_SETCGRAMADDR = 0x40
LCD_SETDDRAMADDR = 0x80

#Banderas para el modo de entrada de pantalla
LCD_ENTRYRIGHT = 0x00
LCD_ENTRYLEFT = 0x02
LCD_ENTRYSHIFTINCREMENT = 0x01
LCD_ENTRYSHIFTDECREMENT = 0x00

#Banderas para el control de encendido/apagado de la pantalla
LCD_DISPLAYON = 0x04
LCD_DISPLAYOFF = 0x00
LCD_CURSORON = 0x02
LCD_CURSOROFF = 0x00
LCD_BLINKON = 0x01
LCD_BLINKOFF = 0x00

#Banderas para visualización/desplazamiento del cursor
LCD_DISPLAYMOVE = 0x08
LCD_CURSORMOVE = 0x00
LCD_MOVERIGHT = 0x04
LCD_MOVELEFT = 0x00

#Banderas para el conjunto de funciones
LCD_8BITMODE = 0x10
LCD_4BITMODE = 0x00
LCD_2LINE = 0x08
LCD_1LINE = 0x00
LCD_5x10DOTS = 0x04
LCD_5x8DOTS = 0x00

#Banderas para el control de la luz de fondo
LCD_BACKLIGHT = 0x08
LCD_NOBACKLIGHT = 0x00

En = 0b00000100
Rw = 0b00000010
Rs = 0b00000001
```

```

class i2c_device:
    def __init__(self, addr=ADDRESS, port=1):
        self.addr = addr
        self.bus = smbus.SMBus(port)
    def write_cmd(self, cmd):
        self.bus.write_byte(self.addr, cmd)
        sleep(0.0001)

class lcd:
    def __init__(self, addr=ADDRESS):
        self.lcd_device = i2c_device(addr)
self.lcd_write(0x03)
        self.lcd_write(0x03)
        self.lcd_write(0x03)
        self.lcd_write(0x02)

        self.lcd_write(LCD_FUNCTIONSET | LCD_2LINE | LCD_5x8DOTS |
            LCD_4BITMODE)
        self.lcd_write(LCD_DISPLAYCONTROL | LCD_DISPLAYON)
        self.lcd_write(LCD_CLEARDISPLAY)
        self.lcd_write(LCD_ENTRYMODESET | LCD_ENTRYLEFT)
        sleep(0.2)

    def lcd_strobe(self, data):
        self.lcd_device.write_cmd(data | En | LCD_BACKLIGHT)
        sleep(.0005)
        self.lcd_device.write_cmd(((data & ~En) | LCD_BACKLIGHT))
        sleep(.0001)

    def lcd_write_four_bits(self, data):
        self.lcd_device.write_cmd(data | LCD_BACKLIGHT)
        self.lcd_strobe(data)

    def lcd_write(self, cmd, mode=0):
        self.lcd_write_four_bits(mode | (cmd & 0xF0))
        self.lcd_write_four_bits(mode | ((cmd << 4) & 0xF0))

    def lcd_write_char(self, charvalue, mode=1):
        self.lcd_write_four_bits(mode | (charvalue & 0xF0))
        self.lcd_write_four_bits(mode | ((charvalue << 4) & 0xF0))
    def lcd_display_string(self, string, line):
        if line == 1:
            self.lcd_write(0x80)
        elif line == 2:
            self.lcd_write(0xC0)
        elif line == 3:
            self.lcd_write(0x94)
        elif line == 4:
            self.lcd_write(0xD4)
        else:

```

```

        raise Exception("Line parameter must be 1, 2, 3, or 4.")

    for char in string:
        self.lcd_write(ord(char), Rs)

def lcd_clear(self):
    self.lcd_write(LCD_CLEARDISPLAY)
    self.lcd_write(LCD_RETURNHOME)

def backlight_on(self, set_to_on):
    if set_to_on:
        self.lcd_device.write_cmd(LCD_BACKLIGHT)
    else:
        self.lcd_device.write_cmd(LCD_NOBACKLIGHT)

def lcd_load_custom_chars(self, fontdata):
    self.lcd_write(0x40)
    for line in fontdata:
        for char in line:
            self.lcd_write_char(char)

def lcd_display_string_pos(self, string, line, pos):
    if line == 1:
        pos_new = pos
    elif line == 2:
        pos_new = 0x40 + pos
    elif line == 3:
        pos_new = 0x14 + pos
    elif line == 4:
        pos_new = 0x54 + pos
    else:
        raise Exception("Line parameter must be 1, 2, 3, or 4.")

    self.lcd_write(0x80 + pos_new)

    for char in string:
        self.lcd_write(ord(char), Rs)

```

#TRATAMIENTO DE DATOS - PROGRAMA PRINCIPAL (PYTHON)

```
#Llamado librerías
import ADQ_DATOS as ad
import numpy as np
import RPi.GPIO as GPIO #configuración de entradas
import i2c_lcd
from time import sleep as dl
lcd1 = i2c_lcd.lcd()

#Llamado adquisición de datos
trama= ad.adq

#Configuración de entradas 11/13/15
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
botones= (11,13,15)
GPIO.setup(botones, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
GPIO.add_event_detect (11, GPIO.RISING)
GPIO.add_event_detect (13, GPIO.RISING)
GPIO.add_event_detect (15, GPIO.RISING)

#Vectores para almacenar muestras de hr, spo2 y temp.
alm_hr = []
spo2 = []
temperatura = []
temp_amb= []

max_hr = []
max_spo2= []
max_temp = []
max_temp_amb= []

HR=0
SP=0
TE=0
Ta=0

#Mensajes de Bienvenida
lcd1.lcd_display_string_pos("  BIENVENIDO  ",1,0)
dl(3)
lcd1.lcd_clear()
lcd1.lcd_display_string_pos("U. TECNICA  ",1,0)
lcd1.lcd_display_string_pos("  DEL NORTE  ",2,3)
dl(3)
lcd1.lcd_clear()
lcd1.lcd_display_string_pos("INGENIERIA EN",1,1)
lcd1.lcd_display_string_pos("MECATRONICA  ",2,2)
dl(3)
lcd1.lcd_clear()
lcd1.lcd_display_string_pos("SISTEMA DE  ",1,2)
```

```

lcd1.lcd_display_string_pos(" MONITOREO  ",2,3)
dl(3)
lcd1.lcd_clear()

#Ciclo lectura de datos
while True:

    val=trama()

    #Selección de tramas más de dos caracteres
    if len(val) > 2:

        # Fragmentación trama hr,spo2,temperatura
        val1= val.replace(","," ").split()
        print(val)# prim filtro
        c=len(alm_hr)
        if c<=2:
            alm_hr.append(float(val1[0]))
            spo2.append(float(val1[1]))
            temp_amb.append(float(val1[2]))
            temperatura.append(float(val1[3]))
            #print("temperaturas = ",temperatura)
            #print(val1[3])# seg filtro
        else:

            f=len(max_hr)
            if f<=2:
                max_hr.append(float(np.max(alm_hr)))
                max_spo2.append(float(np.max(spo2)))
                max_temp_amb.append(float(np.max(temp_amb)))
                max_temp.append(float(np.max(temperatura)))
                #print("max temp = ", max_temp)
            else:
                HR=np.max(max_hr)
                SP=np.max(max_spo2)
                TE=np.max(max_temp)
                Ta=np.max(max_temp_amb)
                #print("HR A IMPRIMIR : ",HR)
                #print("SP A IMPRIMIR : ",SP)
                #print("TE A IMPRIMIR : ",TE)

            dl(0.25)
            del max_hr[ : ]
            del max_spo2[ : ]
            del max_temp_amb[ : ]
            del max_temp[ : ]

            del alm_hr[ : ]
            del spo2[:]
            del temperatura[:]
            del temp_amb[:]

```



```

#Interrupción llamado HR
if GPIO.event_detected(11) :
    lcd1.lcd_clear()
    lcd1.lcd_display_string_pos("      HR      ",1,0)
    lcd1.lcd_display_string_pos(str("{0:.2f}".format(HR)),2,5)
    #print("HR : ",HR)
    dl(2)

#Interrupción llamado SPO2
if GPIO.event_detected(13):
    lcd1.lcd_clear()
    lcd1.lcd_display_string_pos("      SPO2      ",1,0)
    lcd1.lcd_display_string_pos(str("{0:.2f}".format(SP)),2,5)
    #print("SP : ",SP)
    dl(2)

#Interrupción llamado TEMPERATURA
if GPIO.event_detected(15):
    lcd1.lcd_clear()
    lcd1.lcd_display_string_pos(" TEMPERATURA CORPORAL  ",1,0)
    lcd1.lcd_display_string_pos(str("{0:.2f}".format(TE)),2,2)

    lcd1.lcd_display_string_pos(str("{0:.2f}".format(Ta)),2,10)
    #print("TE : ",TE)
    #print("Ta : ",Ta)
    dl(2)

else:
    lcd1.lcd_clear()
    lcd1.lcd_display_string_pos("      MEDIR HR/      ",1,0)
    lcd1.lcd_display_string_pos("      SPO2/TEMP      ",2,0)

```